



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501**

# **PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERBELANJAAN DI SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**SARAH SALSABYLA**  
**NRP 3114030036**

**DIMAS DONI GARCIA**  
**NRP 3114030043**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. Srie Subekti, MT.**  
**NIP 19560520 198903 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL**  
**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG  
PUSAT PERBELANJAAN DI SURABAYA DENGAN  
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
MENENGAH (SRPMM)**

**SARAH SALSABYLA**  
**NRP 3114030036**

**DIMAS DONI GARCIA**  
**NRP 3114030043**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. Srie Subekti, MT.**  
**NIP 19560520 198903 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL**  
**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL**  
**Fakultas Vokasi**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - RC 145501**

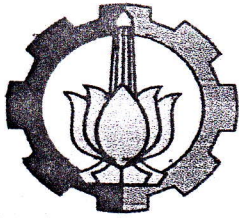
**STRUCTURE PLANNING OF THE SHOPPING  
CENTER IN SURABAYA WITH INTERMEDIATE  
MOMENT FRAME SYSTEM BEARERS METHOD**

**SARAH SALSABYLA  
NRP 3114030036**

**DIMAS DONI GARCIA  
NRP 3114030043**

**Supervisor  
Ir. Srie Subekti, MT.  
NIP 19560520 198903 2 001**

**Civil Engineering Diploma III Program  
Civil Infrastructure Engineering Department  
Faculty of Vocational  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116  
 Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025  
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

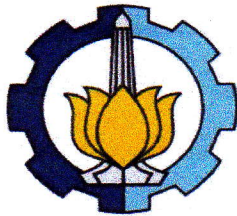
**Nama** : 1 SARAH SALCABYLA 2 DIMAS DONI GARCIA.  
**NRP** : 1 3114030036 2 3114030043  
**Judul Tugas Akhir** : PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERBELANJAAN  
 DI SURABAYA DENGAN METODE SRPMM.

**Dosen Pembimbing** : Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	2 Pebruari 2017	- Data dan denah proyek.				
		- Memotong area mezzanine.				
		-		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	9 Pebruari 2017	- Revisi kata pengantar, abstrak, diagram				
		alir plat, diagram alir tangga, diagram				
		alir balok, daftar pustaka., rencana.		B	C	K
		jadwal penyusunan tugas akhir,		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Rubah denah arsitek menjadi struktur.				
		- Tambahkan kontrol lendutan dan retak.				
				B	C	K
3.	16 Pebruari 2017	- Diagram Alir plat dan tangga.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	16 Pebruari 2017	ACE di plot				
				B	C	K
5.	23 Pebruari 2017	- Balok anak dibuat memanjang dan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		melintang tiap bentang.				
		- Rubah pembebanan				
6.	2 Maret 2017	- Rubah penulangan plat dengan sni terbaru		B	C	K
		- cari spek eskalator & trevelator		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Minta di Bu Sulfi tata penulisan TA.				

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama**

**: 1 SARAH SALSABYLA**

**2 DIMAS DONI GARCIA**

**NRP**

**: 1 3114030036**

**2 3114030043**

**Judul Tugas Akhir**

**: PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERBELANJAAN DI SURABAYA  
 DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**Dosen Pembimbing**

**: Ir. Srie Subekti, MT.**

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
7.	16 Maret 2017	- Denah plat, sloof, balok dan kolom. (senin)				
		- Perbaikan proposal metodologi pelaksanaan				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	23 Maret 2017	- masukan di latar belakang. existing				
		bangunan serta apa yg akan di				
		kerjakan.		B	C	K
		- sumber gambar. pada BAB II		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Pada metodologi "Perhitungan t.l. pelat"				
		- Metode pelaksanaan pelom.				
				B	C	K
9.	13 April 2017	- Nama plat dibuat abjad (A,B,C,D)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		(stata diperbesar)				
		- Gambar struktur, denah, dll di print di A1.				
		- Denah sloof → tiang pancangnya dihilangkan				
		- Kerjakan laporan, lengkapi dengan keterangan		B	C	K
		pada masing-masing perhitungan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Asistensi langsung laporan.				
		- Penjelasan pada subjudul diperjelas lagi.				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

- B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





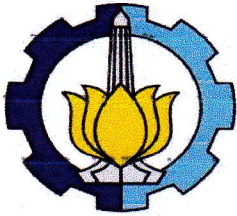
### ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

**Nama** : 1 SARAH SALSABYLA 2 DIMAS DONI GARCIA  
**NRP** : 1 3114030036 2 3114030043  
**Judul Tugas Akhir** : Perencanaan Struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)  
**Dosen Pembimbing** : IR. SRIE SUBEKTI, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
10.	27 April 2017.	- Pelajari teori pada materi yang ditulis				
11.	19 Mei 2017	- Hitung panjang penyaluran. - cari V geser dari $\frac{1}{4}$ L dilapangan.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	26 Mei 2017	-Tabelkan balok beserta hitungan lengkap, semua tipe. - Metode pelaksanaan kolom masukkan di bab IV, setelah perhitungan. - Beban gempa dijadikan 1 Ibr/lantai - Bandingkan momen lantai manual & SAP. - Coba gaya gesernya $V_u$ di $\frac{1}{4}$ L. - Buat silinder uji beton.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.	29 Mei 2017	- Gambar diperjelas & diperbesar - keterangan ditengah diberi lembar - Cek kop., tanganya dipotong 2 - kasih potongan pada plat (detail). - Cek tulangan plat.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ket.** :  
 B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL




Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 SARAH SALSABYLA 2 DIMAS DONI GARCIA  
**NRP** : 1 3114030036 2 3114030043  
**Judul Tugas Akhir** : Perencanaan Struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Srie Subekti, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
14.	2 Juni 2017.	* Cek persyaratan tangga $65 < x < 57$				
		* Untuk pemenuhan tinggi injakan ditaruh				
		bawah sendiri		B	C	K
		* Luas segitiga gambar mana		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		* Panjang penyaluran dihitung semua & kait				
15.	7 Juni 2017	- Cover inggris dibedakan lembarannya.		B	C	K
		- Pelajari gambar cek kondisi kolom		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gambar di print				
16.	16 Juni 2017	- Gambarnya diperbesar supaya terbaca		B	C	K
		- Baca-baca metode pelaksanaan kolom		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :

B = Lebih cepat dari jadwal  
 C = Sesuai dengan jadwal  
 K = Terlambat dari jadwal





## LEMBAR PENGESAHAN


### PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG PUSAT PERBELANJAAN DI SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

#### TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Ahli Madya  
pada  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Disusun oleh :

Mahasiswa 1,



**Sarah Salsabyla**

NRP. 3114030036

Mahasiswa 2,



**Dimas Doni Garcia**

NRP. 3114030043

27 JUL 2017

Disetujui oleh,  
Dosen Pembimbing,



**Ir. Srie Subekti, MT.**

NIP. 19560520 198903 2 001

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG  
PUSAT PERBELANJAAN DI SURABAYA DENGAN METODE  
SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**Nama Mahasiswa 1 : Sarah Salsabyla**  
**NRP : 3114030036**  
**Nama Mahasiswa 2 : Dimas Doni Garcia**  
**NRP : 3114030043**  
**Jurusan : Departemen Teknik Infrastruktur**  
**Sipil Fakultas Vokasi – ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Srie Subekti, MT.**  
**NIP : 19560520 198903 2 001**

**Abstrak**

Objek yang digunakan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir Terapan ini adalah bangunan pusat perbelanjaan di Surabaya. Dengan kategori resiko II. Gedung pusat perbelanjaan ini didesain terdiri dari 3 lantai dengan atap baja dengan luas bangunan  $8747,756 \text{ m}^2$  dan dimodifikasi dengan mengurangi luas bangunan sesungguhnya menjadi  $5919,17 \text{ m}^2$ . Beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur serta dirancang untuk memikul gaya-gaya yang terjadi akibat gempa untuk bangunan dengan kondisi desain seismik C. Sehingga perhitungan tepat dilakukan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Perhitungan elemen struktur bangunan dan beban-beban yang terjadi, baik beban lateral (gempa dan angin) maupun beban gravitasi (beban mati dan beban hidup), dihitung sesuai dengan SNI 2847 : 2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 1726 : 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727 : 2013 Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan



Gedung dan Struktur lain serta Peta Hazzard Indonesia 2010 periode ulang 10% dalam 50 tahun. Sedangkan analisa gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dilakukan dengan program SAP2000 dengan meninjau dua portal saja, yaitu portal memanjang dan melintang. Untuk kebutuhan tulangan pada kolom digunakan program PCAColoumn. Proses dalam perhitungan gempa statik ekuivalen, preliminari desain struktur, permodelan struktur dengan SAP2000, pembebanan struktur, analisa gaya dalam serta perhitungan penulangan dan cek persyaratan sesuai dengan SRPMM. Struktur primer terdiri dari balok dan kolom, struktur sekunder terdiri dari plat lantai dan tangga , dan struktur atap baja terdiri dari gording, penggantung gording, ikatan angin, kuda-kuda, dan kolom baja.

Hasil dari perhitungan ini didapatkan Balok Induk dimensi 40/60 cm, Balok Anak dimensi 35/50 cm, Balok Ring dimensi 20/30 cm, Balok Eskalator dimensi 50/70 cm, Sloof dimensi 40/60, Kolom tipe 1 dimensi 60/60 cm, Kolom tipe 2 dimensi 50/50 cm, Gording baja menggunakan LLC 150.65.20.3,2, Kuda-kuda baja menggunakan WF 500.200.10.16, Kolom pendek baja WF 350.350.12.19 serta penjelasan mengenai metode pelaksanaan kolom.

**Kata kunci : Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya, Gempa Statik Ekuivalen, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah.**

## **STRUCTURE PLANNING OF THE SHOPPING CENTER IN SURABAYA WITH INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM BEARERS METHOD**

**Name** : Sarah Salsabyla  
**NRP** : 3114030036  
**Name** : Dimas Doni Garcia  
**NRP** : 3114030043  
**Departemen** : Civil Infrastructure Engineering  
Department, Faculty of Vocational ITS  
**Supervisor** : Ir. Srie Subekti, MT.  
**NIP** : 19560520 198903 2 001

### **Abstract**

The object used in the preparation of this Applied Final Report is a shopping center building in Surabaya. By risk 2<sup>nd</sup> category. This shopping center building is designed to consist of 3 floors with steel roof with a building area of 8747,756 m<sup>2</sup> and modified by reducing the actual building area to be 5919,17 m<sup>2</sup>. The lateral load generated by the earthquake is borne by the moment-carrying frame through the bending mechanism and is designed to carry the seismic forces for buildings with the seismic design of C conditions. So the precise calculation is done by the Intermediate Moment Frame System Bearers Method (SPRMM).

Calculation of structural elements of buildings and loads occurring, both lateral loads (earthquakes and winds) and gravity loads (dead load and live load), are calculated in accordance with SNI 2847:2013 Structural Concrete Requirements for Buildings, SNI 1726:2012 Procedure Earthquake Resilience Planning for Building Structure and Non Building, SNI 1727:2013 Minimum Expense for Building Planning and Other Structures, and Map of



Indonesia Hazzard 2010 10% return period in 50 years. While the inner force analysis that occurs in structural elements is done with SAP2000 program by reviewing the two portals only, namely the portal extends and transverse. For the needs of reinforcement in the column used PCAColoumn program. Processes in calculation of equivalent stratum earthquakes, preliminary structural design, structural modeling with SAP2000, structural loading, inner style analysis as well as calculation of reinforcement and check requirements in accordance with SRPMM. The primary structure consists of beams and columns, secondary structures consisting of floor plates and stairs, and the structure of the steel roof consists of gording, hanging gording, wind bonds, horses, and steel columns.

The result of this calculation is obtained 40/60 cm beam dimension, 60/60 cm 1<sup>st</sup> coloumn dimension, 50/50 cm 2<sup>nd</sup> coloumn dimension, Steel gording using LLC 150.65.20.3.2, Steel horses using WF 500.200.10.16, steel columns WF 350,350.12.19, and also accompanied by an explanation of the method of implementation of the column work.

**Key word : Equivalent Static Earthquake, Intermediate Moment Frame System Bearers, Shopping Center in Surabaya**

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan berkah, anugerah, dan karunia yang melimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir Terapan dengan judul “Perencanaan Struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)”. Proyek akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar ahli madya dan sebagai syarat kelulusan pada Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan dengan judul “Perencanaan Struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)” penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, proposal tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan proposal tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Orang tua yang telah memberikan dukungan moral, doa, dan kasih sayang.
2. Bapak Machsus, ST.MT. selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.
3. Bapak Ir. Didik Harijanto, CES. selaku Ketua Koordinator Kerja Praktek dan Tugas Akhir.
4. Ibu Ir. Srie Subekti, MT. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
5. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga laporan Tugas Akhir Terapan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, 28 Juli 2017



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Lokasi Proyek.....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	4
1.6 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Data struktur yang direncanakan .....	5
2.2 Beton .....	6
2.3 Baja.....	6
2.3.1 Material Baja.....	8
2.3.2 Sifat-sifat mekanik baja.....	8
2.3.3 Sifat Bahan Baja.....	10
2.3.4 Perilaku Baja Pada Temperatur Tinggi .....	11
2.3.5 Keuletan Material.....	12

2.3.6 Keruntuhan Getas .....	13
2.3.7 Keruntuhan Leleh .....	14
2.3.8 Dasar Perencanaan Struktur Baja .....	15
2.3.9 Analisa Struktur dengan Metode Plastisitas (Mu) .....	16
2.3.10 Portal .....	18
2.3.11 Batang tekan .....	20
2.3.12 Sambungan Baut .....	21
2.3.13 Konstruksi Baseplate ( Pelat Dasar ) .....	24
2.3.14 Perhitungan Ikatan Angin .....	24
2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen .....	25
2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa .....	26
2.4.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah .....	26
2.4.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus .....	27
2.5 Analisa beban lateral atau gempa .....	27
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN .....	29
3.1 Pengumpulan Data .....	29
3.2 Preliminary .....	29
3.3 Perhitungan Pembebanan .....	31
3.4 Analisa Gaya Dalam .....	33
3.5 Perhitungan Tulangan Struktur .....	34
3.6 Gambar Rencana .....	44
3.7 Diagram Alir Perhitungan Struktur .....	45
3.8 Diagram Alir Perhitungan Kuda-kuda Baja .....	46



3.9 Diagram Alir Gording Baja.....	47
3.10 Diagram Alir Perhitungan Plat .....	48
3.11 Diagram Alir Perhitungan Plat Tangga .....	49
3.12 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Balok .....	50
3.13 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Balok .....	51
3.14 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Torsi Balok .....	52
3.15 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Sloof .....	53
3.16 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Sloof .....	54
3.17 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Torsi Sloof .....	55
3.18 Diagram Alir Perhitungan Kolom .....	56
3.19 Diagram Alir Perhitungan Geser Kolom .....	57
3.20 Diagram Alir Metode Pelaksanaan Kolom.....	58
<b>BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN .....</b>	<b>59</b>
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur .....	59
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	59
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom .....	67
4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof.....	70
4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat .....	72
4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga .....	83
4.2 Analisis Struktur.....	84
4.3 Perhitungan Struktur.....	86
4.2.1 Pembebanan Struktur .....	86
4.2.1.1 Pembebanan Pelat.....	86

4.2.1.2 Pembebanan Dinding .....	87
4.2.1.3 Pembebanan Tangga.....	88
4.2.1.4 Pembebanan Eskalator dan Travelator .....	88
4.2.1.5 Pembebanan Angin.....	93
4.2.1.6 Pembebanan Gempa .....	100
4.2.2 Perhitungan Pelat Lantai .....	108
4.2.2.1 Perhitungan Pelat Lantai Tipe A .....	111
4.2.2.2 Perhitungan Pelat Lantai Tipe B.....	120
4.2.3.1 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga.....	136
4.2.3.2 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes .....	138
4.2.4 Perhitungan Balok .....	141
4.2.4.1 Perhitungan Balok Induk (B1).....	141
4.2.4.2 Perhitungan Balok Anak (BA1) .....	172
4.2.4.3 Perhitungan Balok Sloof (S1).....	201
4.2.5 Perhitungan Kolom.....	231
4.2.5.1 Perhitungan Kolom K1.....	231
4.2.5.2 Perhitungan Kolom K2.....	260
4.2.6 Perhitungan Atap Rangka Baja .....	288
4.2.6.1 Perhitungan Gording .....	288
4.2.6.2 Perhitungan Penggantung Gording.....	293
4.2.6.3 Perhitungan Ikatan Angin Atap .....	297
4.2.6.4 Perhitungan Kuda-kuda.....	300
4.2.6.5 Perhitungan Kolom.....	306

4.2.6.6 Perhitungan Sambungan.....	310
4.4 Metode Pelaksanaan Konstruksi Kolom .....	329
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	335
5.1 Kesimpulan.....	335
5.2 Saran.....	337
DAFTAR PUSTAKA.....	339
LAMPIRAN .....	341



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Denah Perencanaan Balok B1 .....	59
Gambar 4. 2 Gambar Rencana B1 .....	60
Gambar 4. 3 Denah Perencanaan Balok B2 .....	61
Gambar 4. 4 Gambar Rencana B2.....	61
Gambar 4. 5 Denah Perencanaan Balok B3 .....	62
Gambar 4. 6 Gambar Rencana B3.....	63
Gambar 4. 7 Denah Perencanaan Balok BA1 .....	63
Gambar 4. 8 Gambar Rencana BA1 .....	64
Gambar 4. 9 Denah Perencanaan Balok BA2 .....	65
Gambar 4. 10 Gambar Rencana BA2.....	65
Gambar 4. 11 Denah Perencanaan Balok BA3 .....	66
Gambar 4. 12 Gambar Rencana BA2.....	67
Gambar 4. 13 Rencana Denah Kolom 1 .....	67
Gambar 4. 14 Gambar Rencana Kolom 60/60 .....	68
Gambar 4. 15 Rencana Denah Kolom 2 .....	69
Gambar 4. 16 Gambar Rencana Kolom 50/50 .....	70
Gambar 4. 17 Rencana Denah Sloof S1 .....	70
Gambar 4. 18 Gambar Rencana Sloof S1 45/65.....	71
Gambar 4. 19 Gambar Rencana Pelat.....	72
Gambar 4. 20 Gambar Rencana Pelat.....	77
Gambar 4. 21 Rencana Denah Tangga .....	83
Gambar 4. 22 Struktur 3D .....	85
Gambar 4. 23 Jarak Pergeseran Step.....	89
Gambar 4. 24 Tabel ukuran-ukuran rantai .....	90
Gambar 4. 25 Mekanisme Sistem Penggerak.....	91
Gambar 4. 26 Kategori Resiko Bangunan.....	95
Gambar 4. 27 Prakiran Cuaca Provinsi Jawa Timur .....	96
Gambar 4. 28 Faktor Arah Angin, Kd.....	96
Gambar 4. 29 Tabel GCpi .....	97

Gambar 4. 30 Tabel Koefisien Eksposur Tekanan Velositas .....	97
Gambar 4. 31 Tabel 26.9.1 SNI 1727:2013.....	98
Gambar 4. 32 Tabel 27.4.1 SNI 1727:2013.....	99
Gambar 4. 33 Momen Pelat.....	110
Gambar 4. 34 Potongan Pelat Tangga .....	129
Gambar 4. 35 Pemodelan Tangga .....	130
Gambar 4. 36 Denah Pembalokan .....	141
Gambar 4. 37 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	145
Gambar 4. 38 Denah Pembalokan .....	172
Gambar 4. 39 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	176
Gambar 4. 40 Denah Sloof .....	202
Gambar 4. 41 Tinggi Efektif Kolom .....	232
Gambar 4. 42 Denah Posisi Kolom K1 (60/60) Pada As F-4....	233
Gambar 4. 43 Faktor Panjang Efektif (K) .....	238
Gambar 4. 44 Penampang Kolom K1 .....	252
Gambar 4. 45 Grafik Akibat Momen pada PCACOL .....	253
Gambar 4. 46 Hasil Output pada PCACOL .....	253
Gambar 4. 47 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM .....	255
Gambar 4. 48 Lintang Kolom untuk SRPMM .....	255
Gambar 4. 49 Tinggi Efektif Kolom .....	261
Gambar 4. 50 Denah Posisi Kolom K2 (50/50) Pada As A-10.	262
Gambar 4. 51 Faktor Panjang Efektif (K) .....	267
Gambar 4. 52 Penampang Kolom K2 .....	281
Gambar 4. 53 Grafik Akibat Momen pada PCACOL .....	282
Gambar 4. 54 Hasil Output pada PCACOL .....	282
Gambar 4. 55 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM .....	284
Gambar 4. 56 Lintang Kolom untuk SRPMM .....	284
Gambar 4. 57 Rencana Sambungan antar Kuda-Kuda.....	311
Gambar 4. 58 Rencana Sambungan Kuda-Kuda dan Kolom....	318



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Mekanis Baja Struktur .....	9
Tabel 2. 2 Spesifikasi Baut Dan Paku Keling .....	22
Tabel 2. 3 Data Teknis baut HTB.....	22
Tabel 2. 4 Fa SNI 1726-2012 .....	28
Tabel 2. 5 Fv SNI 1726-2012.....	28
Tabel 3. 1 Tebal Minimum Balok Non Prategang.....	31
Tabel 3. 2 Lebar Retak Maksimum.....	40
Tabel 3. 3 Panjang Penyaluran Batang Ulir Dan Kawat Ulir.....	40
Tabel 4. 1 Beban Angin pada SAP arah x dan y.....	100
Tabel 4. 2 Fa SNI 1726-2012 .....	101
Tabel 4. 3 Fv SNI 1726-2012.....	101
Tabel 4. 4 Perhitungan Beban Per Lantai Periode 500 tahun....	102




## DAFTAR NOTASI

$A_{cp}$	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton ( $\text{mm}^2$ )
$A_g$	= Luas bruto penampang ( $\text{mm}^2$ )
$A_n$	= Luas bersih penampang ( $\text{mm}^2$ )
$A_o$	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser ( $\text{mm}^2$ )
$A_s$	= Luas tulangan tarik non prategang ( $\text{mm}^2$ )
$A_s'$	= Luas tulangan tekan non prategang ( $\text{mm}^2$ )
$A_y$	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak $s$ atau luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak $s$ pada komponen struktur lentur tinggi ( $\text{mm}^2$ )
$b$	= Lebar daerah tekan komponen struktur ( $\text{mm}^2$ )
$b_o$	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi (mm)
$b_w$	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat (mm)
$C$	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm)
$C_c'$	= Gaya pada tulangan tekan
$C_s'$	= Gaya tekan pada beton
$d$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm)
$d'$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan (mm)
$db$	= Diameter nominal batang tulangan, kawat atau strand prategang (mm)
$D$	= Beban mati atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan beban mati
$e$	= Eksentrisitas dari pembebanan tekan pada kolom atau setapak pondasi
$e_x$	= Jarak kolom ke pusat kekakuan arah $x$
$e_y$	= Jarak kolom ke pusat kekakuan arah $y$
$E_x$	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa $x$
$E_y$	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya

	dalam yang berhubungan dengan gempa y
$E_c$	= Modulus elastisitas beton (Mpa)
$I_b$	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok
$I_p$	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat
$f_c'$	= Kuat tekan beton yang diisyaratkan (Mpa)
$f_y$	= Kuat leleh yang diisyaratkan untuk tulangan non prategang (Mpa)
$f_{vy}$	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal (Mpa)
$h$	= Tinggi total dari penampang
$M_u$	= Momen terfaktor dari penampang
$M_{nc}$	= Kekuatan momen nominal untuk balok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm)
$M_n$	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja
$M_1$	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan; bernilai positif bila komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda (Nmm)
$M_2$	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen tekan; selalu bernilai positif (Nmm)
$M_{1ns}$	= Nilai yang lebih kecil dari momen – momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analisis konvensional (orde pertama). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm)
$M_{2ns}$	= Nilai yang lebih besar dari momen – momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang



	berarti, dihitung dengan analisis rangka elastis konvensional (Nmm)
$N_u$	= Beban aksial terfaktor.
$P_{cp}$	= Keliling luar penampang beton (mm)
$P_b$	= Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang (N)
$P_c$	= Beban kritis (N)
$P_u$	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan (N)
$S$	= Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan (N)
$T_n$	= Kuat momen torsi nominal (Nmm)
$T_u$	= Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm)
$V_c$	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton
$V_s$	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser (N)
$x$	= Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang
$\beta$	= Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
$\beta_p$	= Faktor yang digunakan untuk menghitung $V_c$ dalam slab prategang.
$\delta_{ns}$	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan kesamping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung – ujung komponen struktur tekan.
$\delta_s$	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan kesamping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi.
$\rho'$	= Rasio tulangan tekan
$\rho_b$	= Rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang
$\rho_{max}$	= Rasio tulangan tarik maksimum



$\rho_{min}$	= Rasio tulangan tarik minimum
$\epsilon_c$	= Regangan dalam beton
$\lambda d$	= Panjang penyaluran
$\lambda db$	= Panjang penyaluran dasar
$\lambda dh$	= Panjang penyaluran kait standart tarik diukur dari penampang kritis hingga ujung luar kait ( bagian panjang penyaluran yang lurus antara penampang kritis dan titik awal kait (titik garis singgung) ditambah jari jari dan satu diameter tulangan)
$\lambda hb$	= Panjang penyaluran dasar dari kait standar tarik
$\lambda n$	= Bentang bersih untuk momen positif atau geser dan rata-rata dari bentang-bentang bersih yang bersebelahan untuk momen negatif
$\lambda u$	= Panjang bebas (tekuk) pada kolom
$\mu$	= Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadi pelelehan pertama
$\psi$	= Faktor kekangan ujung – ujung kolom



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gedung pusat perbelanjaan atau mall, menurut SNI 1726:2012 tentang kategori resiko gedung untuk beban gempa, termasuk dalam kategori resiko II. Pada Tugas Akhir ini objek perencanaan berupa gedung pusat perbelanjaan dan hypermarket Transmart Surabaya, bangunan ini terdiri dari 3 lantai beratap baja dengan luas bangunan  $8.747,756 \text{ m}^2$  dan dimodifikasi menjadi 3 lantai beratap baja dengan luas bangunan  $5.919,17 \text{ m}^2$ . Di lapangan bangunan ini memiliki dimensi  $133 \text{ m} \times 72,185 \text{ m}$  dan terdapat satu dilatasi yang memisahkan bangunan mall dan lokasi parkir. Pada proposal tugas akhir ini hanya meninjau bangunan mallnya saja, dengan dimensi  $82 \text{ m} \times 72,185 \text{ m}$  dengan tinggi yang sama dengan bangunan aslinya yaitu  $30 \text{ m}$  tanpa meninjau bangunan parkir. Bangunan ini terletak di Jalan Raya Kalirungkut no.25 Surabaya, yang berdasarkan hasil *Standard Penetration Test* (SPT) pada titik boring sedalam  $50 \text{ m}$  diketahui berjenis tanah sedang dengan nilai SPT rata-rata  $\bar{N} = 21,576$ , sehingga termasuk kedalam Kelas Situs SD. Beban gempa pada gedung ini direncanakan dengan periode ulang gempa  $500$  tahun. Setelah itu, didapatkan nilai  $S_s$  (parameter respon spektral percepatan gempa  $MCE_R$  untuk periode pendek) dari peta Hazard gempa untuk wilayah Surabaya. Dari kelas situs SD dan nilai  $S_s$  didapatkan nilai  $F_a$  yang akan dikalikan dengan nilai  $S_s$  untuk mendapatkan  $S_{MS}$  (parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek). Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek atau  $S_{DS}$  yang didapat dari  $\frac{2}{3} S_{MS}$  menunjukkan nilai  $S_{DS} = 0,312$  sehingga gedung ini termasuk kategori desain seismik dengan persyaratan :  $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ . Tingkat resiko seismiknya

tergolong sedang (kategori resiko C), dengan syarat desain struktural menggunakan metode SRPMM.

Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sistem rangka ruang dengan komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Dalam perhitungan gedung ini akan menggunakan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012), Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013), Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang (Buku Terbitan ITB, 2014).

## 1.2 Lokasi Proyek



*Gambar 1. 1 Lokasi Eksisting Proyek*



### 1.3 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam perencanaan gedung pusat perbelanjaan di Surabaya ini adalah :

1. Bagaimana merencanakan struktur utama (balok, induk dan kolom), struktur sekunder (balok anak, plat dan tangga) dengan metode SRPMM.
2. Bagaimana aplikasi perhitungan pada gambar teknik.
3. Bagaimana metode pelaksanaan pembuatan kolom di lapangan.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini diberikan batasan masalah dalam perencanaan gedung pusat perbelanjaan di Surabaya sebagai berikut :

1. Analisis beban gempa dilakukan dengan metode analisa statik ekuivalen berdasarkan peraturan gempa di Indonesia (SNI 1726-2012).
2. Perencanaan gedung ini meninjau struktur gedung mall-nya saja tanpa struktur gedung parkir dan metode pelaksanaan pembuatan kolom di lapangan, tanpa memperhitungkan manajemen konstruksi dan segi arsitektural.
3. Perencanaan struktur meliputi :
  1. Kolom, balok, plat dan tangga menggunakan struktur beton bertulang.
  2. Struktur atap menggunakan rangka baja.

### **1.5 Tujuan**

Tujuan penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mampu merencanakan 3 lantai gedung pusat perbelanjaan di Surabaya menggunakan atap rangka baja dengan metode SRPMM.
2. Mampu mengaplikasikan hasil perhitungan struktur kedalam gambar teknik.
3. Mampu membuat metode pelaksanaan pembuatan kolom di lapangan.

### **1.6 Manfaat**

Manfaat penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mahasiswa dapat merencanakan struktur bangunan gedung bertingkat dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Mahasiswa dapat merencanakan struktur gedung bertingkat sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012), SNI 2847-2013 Beton Struktural Bangunan Gedung, SNI 1729-2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural dan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 periode ulang 500 tahun.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam menyelesaikan perhitungan struktur bangunan ini agar memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh gedung maka, tinjauan pustaka ini akan menjelaskan garis besar mengenai teori dan studi pustaka. Perhitungan struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya ini mengacu pada :

1. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012).
3. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).
4. Literatur lainnya.

#### **2.1 Data struktur yang direncanakan**

Data struktur gedung ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi bangunan : Surabaya
2. Luas bangunan : 76 m x 70,5m
3. Tinggi bangunan : 35 m
4. Jumlah lantai : 3 lantai
5. Struktur Atap : Rangka Baja
6. Struktur Gedung : Beton Bertulang
7.  $f_c'$  beton : 30 Mpa
8.  $f_y$  lentur : 400 Mpa
9.  $f_y$  geser : 240 Mpa
10. BJ Baja : BJ 37



## 2.2 Beton

Menurut SNI 2847: 2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture). Ada pula macam-macam beton adalah sebagai berikut :

### a. Beton Bertulang

Merupakan gabungan dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan tinggi akan tetapi kekuatan tarik yang rendah, dan batangan baja yang ditanamkan di dalam beton agar dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan.

### b. Beton Normal

Merupakan beton yang mengandung hanya agregat yang memenuhi ASTM C33M.

### c. Beton Polos

Merupakan beton struktur tanpa tulangan atau dengan tulangan kurang dari jumlah minimum yang ditetapkan untuk beton bertulang.

### d. Beton Prategang

Merupakan beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban.

### e. Beton Pracetak

Merupakan elemen beton struktur yang dicetak ditempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur.

## 2.3 Baja

Baja merupakan salah satu bahan bangunan yang unsur utamanya terdiri dari besi. Baja ditemukan ketika dilakukan penempaan dan pemanasan yang menyebabkan tercampurnya besi dengan bahan karbon pada proses pembakaran, sehingga membentuk baja yang mempunyai kekuatan yang lebih besar dari pada besi.

### 2.3.1 Baja Sebagai Bahan Konstruksi

Mulai dari tahap perencanaan kita sudah dapat menentukan dan memutuskan bahan bangunan yang akan kita gunakan dalam proses pembangunan. Salah satu bahan yang sering digunakan adalah baja. Baja memiliki kekuatan yang sangat besar baik terhadap tarik maupun tekan.

Dengan baja yang dimaksud suatu bahan dengan keserbasamaan yang besar, terutama terdiri atas Ferrum (Fe) dalam bentuk hablur dan 1.7% karbon (C), zat arang itu didapat dengan membersihkan bahan pada temperatur yang sangat tinggi. Bahan dasar untuk pembuatan baja ialah “Besi mentah atau disebut juga besi kasar”, yang dihasilkan dari dapur tinggi. Besi kasar adalah hasil pertama dan merupakan hasil sementara dari pengolahan biji-biji besi dan belum dapat digunakan sebagai bahan konstruksi dan besi tempa karena sifatnya masih rapuh, disamping itu juga unsur-unsur yang bercampur dalam besi kasar, misalnya karbon, silikon, pospor masih sangat tinggi. Baja struktur adalah suatu jenis baja yang berdasarkan pertimbangan ekonomi, kekuatan, dan sifatnya cocok sebagai pemikul beban dengan beberapa keuntungan :

- Memiliki sifat elastisitas (dapat kembali ke posisis awal jika beban ditiadakan);
- Dapat dibongkar pasang (dipakai berulang-ulang);
- Memiliki kekuatan yang cukup tinggi dan merata ( walau massa jenis besar tetapi berat baja memiliki berat sendiri yang rendah karena penampang yang kecil ) ;
- Dapat disambung dengan las yang tidak memiliki perlemahan penampang;
- Tahan lama jika dipelihara.

Disamping itu kerugian baja adalah :

- Memerlukan perawatan dan pemeliharaan teratur
- Kekuatannya dipengaruhi temperatur
- Karena batang-batang baja kebanyakan langsing, maka bahaya tekuk mudah terjadi.



### 2.3.1 Material Baja

Sifat-sifat mekanik dari baja, seperti tegangan leleh dan tegangan putusnya diatur dalam ASTM A6/A6M.. Baja yang digunakan dalam struktur dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu :

a. Baja karbon

Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori tergantung dari presentase kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah ( $C = 0,03 - 0,35\%$ ), baja karbon sedang ( $C = 0,35 - 0,55\%$ ), baja karbon tinggi ( $C = 0,55 - 1,7\%$ ). Baja yang sering digunakan dalam struktur adalah baja karbon medium, misalnya BJ 37. Baja karbon umumnya memiliki tegangan leleh ( $f_y$ ) antara 210 – 250 MPa.

b. Baja paduan rendah mutu tinggi

Memiliki tegangan leleh berkisar 290 - 550 MPa dengan tegangan putus antara 415 - 700 MPa.

c. Baja paduan

Baja paduan rendah dapat ditempa dan dipanaskan untuk memperoleh tegangan leleh antara 550 - 570 MPa. Tegangan leleh dari baja paduan biasanya ditentukan sebagai tegangan yang terjadi saat timbul regangan permanen sebesar 0, 2%, atau dapat ditentukan pula dengan tegangan pada saat regangan mencapai 0, 5%.

### 2.3.2 Sifat-sifat mekanik baja

Didalam perencanaan struktur baja, SNI 03-1729-2015 sifat mekanis baja yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel berikut :



Tabel 2. 1 Sifat Mekanis Baja Struktur

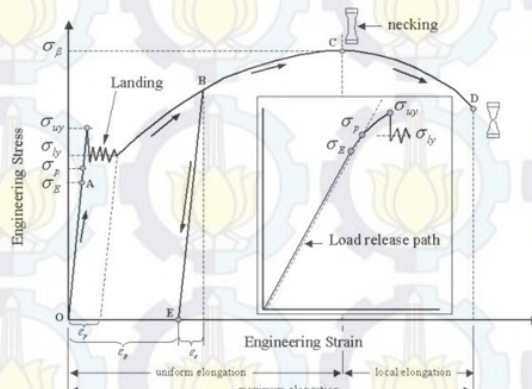
Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

Sifat mekanis lainnya untuk perencanaan ditetapkan sebagai berikut :

1. Modulus elastisitas :  $E = 200.000 \text{ Mpa}$
2. Modulus geser :  $G = 80.000 \text{ Mpa}$
3. Nisbah poisson :  $\mu = 0.3$
4. Koefisien pemuaian :  $\alpha = 12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Dari beberapa macam baja di atas, bangunan ini direncanakan menggunakan baja karbon BJ 37.



Gambar 2. 1 Hubungan Tegangan dan Regangan

Sumber : Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD

Titik-titik penting dalam kurva regangan tegangan antara lain :

- $f$  : batas proposional
- $f_p$  : batas elastis
- $f_y, f_u$  : tegangan leleh
- $f_u$  : tegangan putus
- $\epsilon_{sh}$  : regangan saat mulai terjadinefek strain-hardening (penguatan regangan)
- $\epsilon_u$  : regangan saat tercapainya tegangan putus

### 2.3.3 Sifat Bahan Baja

Sifat baja yang terpenting dalam penggunaannya sebagai bahan konstruksi adalah kekuatannya yang tinggi, dibandingkan dengan material lain. Baja merupakan bahan campuran besi (Fe), 1.7% zat arang atau karbon (C), 1.65% mangan (Mn), 0.6% silikon (Si), dan 0.6% tembaga (Cu). Baja dihasilkan dengan bahan pencampur yang sesuai, dalam tungku temperatur tinggi untuk menghasilkan massa-massa besi kasar, selanjutnya dibersihkan untuk menghilangkan kelebihan zat arang dan kotoran – kotoran lain. Berdasarkan presentase zat arang yang dikandung, baja dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Baja dengan presentase zat arang rendah (*low carbon steel*) yakni lebih kecil dari 0.15%.
2. Baja dengan presentase zat arang ringan (*mild carbon steel*) yakni 0.15% - 0.29%.
3. Baja dengan presentase zat arang sedang (*medium carbon steel*) yakni 0.30% - 0.59%.
4. Baja dengan presentase zat arang tinggi (*high carbon steel*) yakni 0.60% - 1.7%.

Baja dengan bahan struktur termasuk kedalam baja yang presentase zat arang yang ringan (*mild carbon steel*), semakin tinggi zat arang terkandung didalamnya, maka semakin tinggi nilai tegangan lelehnya, sifat – sifat bahan struktur yang paling penting dari baja adalah sebagai berikut :



- a. Modulus Elastisitas (E)  
Modulus elastisitas untuk semua baja adalah 28000 sampai 30000 ksi atau 193000 sampai 207000 MPa. Nilai untuk desain lazimnya diambil sebesar 29000 ksi atau 200000 MPa.
- b. Modulus Geser (G)  
Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI), nilai modulus geser baja adalah  $0,81 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  atau  $0,81 \times 10^5 \text{ MPa}$ .
- c. Koefisien Ekspansi  
Koefisien ekspansi adalah koefisien pemuaian linier. Koefisien ekspansi baja diambil  $12 \times 10^{-6}$  per  $^{\circ}\text{C}$ .
- d. Tegangan Leleh  
Tegangan leleh ditentukan berdasarkan mutu baja.
- e. Sifat-sifat Lain Yang Penting  
Sifat-sifat ini termasuk massa jenis baja, yang sama dengan 490 pfc atau  $7,85 \text{ t/m}^3$ .

Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja. Uji tekan tidak dapat memberikan data yang akurat terhadap sifat-sifat mekanik material baja, karena disebabkan beberapa hal antara lain adanya potensi tekuk pada benda uji yang mengakibatkan ketidakstabilan dari benda uji tersebut, selain itu perhitungan tegangan yang terjadi didalam benda uji lebih mudah dilakukan untuk uji tarik dari pada uji tekan.

#### **2.3.4 Perilaku Baja Pada Temperatur Tinggi**

Proses desain struktur untuk suatu beban layan pada tempratur normal, biasanya jarang sekali memperhitungkan perilaku material pada temperatur tinggi. Pengetahuan mengenai sifat-sifat/perilaku material baja pada temperatur tinggi sangat diperlukan terutama pada saat melakukan proses pengelasan atau pada saat struktur terekepose di dalam api.

Pada temperatur sekitar 93 °C, kurva tegangan regangan akan berubah menjadi tak linier lagi, dan secara bersamaan titik leleh material tidak tampak dengan jelas. Modulus elastisitas, tegangan leleh dan tegangan tarik semuanya akan tereduksi seiring dengan naiknya temperatur material. Pada temperatur antara 430 – 540° laju penurunan sifat-sifat mekanik dari baja mencapai tingkat maksimum. Tiap material baja memiliki kandungan kimia dan mikrostruktur yang berbeda-beda, namun secara umum hubungan antara kenaikan temperatur dengan reduksi sifat-sifat mekaniknya ditunjukkan pada gambar berikut. Baja dengan kandungan karbon yang cukup, seperti BJ 37, menunjukkan perilaku “*strain aging*” pada kisaran temperatur 150 – 370 °C. Hal ini ditunjukkan dengan adanya sedikit kenaikan dari tegangan leleh dan tegangan tariknya. Tegangan tarik mengalami kenaikan sekitar 10% pada temperatur tersebut dan pada temperatur 260 – 320 °C tegangan leleh naik kembali seperti temperatur ruangan normal.

Modulus elastisitas baja tereduksi secara tepat pada temperatur diatas 540 °C. Ketika temperatur mencapai 260 – 320 °C, baja mengalami deformasi seiring dengan pertambahan waktu dibawah beban yang dikerjakan. Fenomena ini disebut dengan istilah rangkak (*creep*) yang biasanya dijumpai pada material beton, pada temperatur normal fenomena rangkak tidak dijumpai pada material baja.

Efek lain yang terjadi pada material baja akibat kenaikan temperatur antara lain adalah naiknya tahanan impak pada takikan antara temperatur 65 – 95 °C, meningkatkan sifat getas material akibat perubahan metalurgi dari material dan naiknya ketahanan baja terhadap korosi pada temperatur 540 °C.

### 2.3.5 Keuletan Material

Penggunaan material baja dengan mutu yang lebih tinggi dari BJ 37 tanpa ada perlakuan panas (*heat treatment*) akan mengakibatkan bahan tidak memiliki daktilitas yang baik dan bahan yang getas / mudah patah, sehingga penggunaan material yang demikian perlu mendapat perhatian yang lebih dari seorang



perencana struktur. Dalam perencanaan struktur baja, keuletan material (*toughness*) adalah ukuran suatu material untuk menahan terjadinya putus (*fracture*) atau dengan kata lain adalah kemampuan untuk menyerap energi. Keuletan material dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk menahan terjadinya perambatan retak akibat adanya takikan pada badan material. Retak yang merambat akan mengakibatkan keruntuhan getas pada material.

Dalam uji tarik uniaksial, keuletan material dapat dihitung sebagai luas total dari kurva tegangan-regangan hingga titik putus benda uji (pada saat kurva tegangan-regangan berakhir). Karena uji tarik uni aksial jarang dijumpai pada struktur yang sebenarnya, maka indeks keuletan bahan dapat diukur berdasarkan kondisi tegangan yang lebih kompleks yang terjadi pada suatu takikan.

### 2.3.6 Keruntuhan Getas

Keruntuhan getas adalah merupakan suatu keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba tanpa didahului deformasi plastis, terjadi dengan kecepatan yang sangat tinggi. Keruntuhan ini dipengaruhi oleh temperatur, kecepatan pembebanan, tingkat tegangan, tebal pelat, dan sistem pengerjaan.

Secara garis besar, faktor-faktor yang dapat menimbulkan keruntuhan getas pada suatu elemen struktur ditampilkan dalam tabel berikut ini :

No	Faktor Pengaruh	Efek
1	Temperatur	Makin tinggi temperatur makin besar peluang terjadinya keruntuhan getas
2	Tegangan tarik	Keruntuhan getas hanya dapat terjadi dibawah tegangan tarik
3	Ketebalan material	Makin tebal material baja makin besar peluang terjadinya keruntuhan getas.
4	Kontinuitas 3 dimensi	Menimbulkan efek tegangan multiaksial yang cenderung mengekang proses leleh baja dan

		meningkatkan kecendrungan terjadinya keruntuhan getas.
5	Takikan	Adanya takikan akan meningkatkan potensi keruntuhan getas
6	Kecepatan pembebanan	Kecepatan pembebanan makin cepat kelajuan pembeban makin besar pula peluang terjadinya keruntuhan getas.
7	Perubahan laju tegangan	Naiknya kelajuan tegangan akan meningkatkan potensi keruntuhan getas.
8	Las	Retakan pada las akan dapat beraksi sebagai suatu takikan

*Sumber: Struktur baja metode LRFD*

### 2.3.7 Keruntuhan Leleh

Pembebanan yang bersifat siklik (khususnya beban tarik) dapat menyebabkan keruntuhan, meskipun tegangan leleh baja tak pernah tercapai. Keruntuhan ini dinamakan keruntuhan leleh (*fatigue failure*). Keruntuhan leleh dipengaruhi 3 faktor yakni:

- Jumlah siklus pembebanan.
- Daerah tegangan layan (pembebanan antara tegangan maksimum dan minimum).
- Kecacatan dalam material, seperti retak-retak kecil.

Pada proses pengelasan cacat dapat diartikan sebagai takikan pada pertemuan antara dua elemen yang disambung. Lubang baut yang mengakibatkan diskontinuitas pada elemen juga dapat dikategorikan sebagai cacat pada elemen tersebut. Cacat-cacat kecil dalam suatu elemen dapat diabaikan dalam suatu proses desain struktur, namun pada struktur yang mengalami beban-beban siklik, maka retakan akan semakin bertambah panjang untuk tiap siklus pembebanan sehingga akan mengurangi kapasitas elemen untuk memikul beban layan. Mutu baja tidak terlalu mempengaruhi keruntuhan leleh ini.



### 2.3.8 Dasar Perencanaan Struktur Baja

Desain struktur harus memenuhi kriteria kekuatan (*streght*), kemampuan layan (*serviceability*) dan ekonomis (*economy*).

#### 1. Kekuatan

Berkaitan dengan kemampuan umum dan keselamatan struktur pada kondisi pembebanan yang ekstrem. Struktur diharapkan mampu bertahan meskipun terkadang mendapat beban yang berlebihan tanpa mengalami kerusakan dan kondisi yang membahayakan selama waktu pemakaian struktur tersebut.

#### 2. Kemampuan layan

Mengacu pada fungsi struktur yang sesuai, berhubungan dengan tampilan, stabilitas dan daya tahan, mengatasi pembebanan, defleksi, vibrasi, deformasi permanen, retakan dan korosi, serta persyaratan-persyaratan lainnya

#### 3. Ekonomis

Mengutamakan pada keseluruhan persyaratan biaya material, pelaksanaan konstruksi dan tenaga kerja, mulai tahapan perencanaan, pabrikasi, pendirian dan pemeliharaan.

#### 4. Perencanaan tegangan kerja-elastis

Elemen struktural harus direncanakan sedemikian rupa hingga tegangan yang dihitung akibat beban kerja, atau servis tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan. Tegangan ijin ini ditentukan oleh peraturan bangunan atau spesifikasi untuk mendapat faktor keamanan terhadap tercapainya tegangan batas, seperti tegangan leleh minimum atau tegangan tekuk (*buckling*). Tegangan yang dihitung harus berada dalam batas elastisitas, yaitu tegangan sebanding dengan regangan.

#### 5. Perencanaan keadaan batas

Filosofi ini meliputi metode yang umumnya disebut “perencanaan kekuatan batas”, “perencanaan kekuatan”, “perencanaan plastis”, “perencanaan faktor beban”, “perencanaan batas”, dan yang terbaru “perencanaan faktor daya tahan dan beban” (LRFD/*Load and Resistance Factor*

*Design*). Keadaan batas adalah istilah umum yang berarti “suatu keadaan pada struktur bangunan dimana bangunan tersebut tidak bisa memenuhi fungsi yang telah direncanakan”. Keadaan batas dapat dibagi atas kategori kekuatan dan kemampuan layan.

- Keadaan batas kekuatan (keamanan) adalah kekuatan daktilitas maksimum (kekuatan plastis), tekuk, lelah pecah, guling dan geser.
- Keadaan batas kemampuan layan berhubungan dengan penghunian bangunan, seperti lendutan, getaran, deformasi permanen, dan retak.

Dalam perencanaan keadaan batas, keadaan batas kekuatan atau batas yang berhubungan dengan keamanan dicegah dengan mengalikan suatu faktor pada pembebanan. Berbeda dengan perancangan tegangan kerja meninjau keadaan pada beban kerja, peninjauan pada perencanaan keadaan batas ditujukan pada ragam keruntuhan atau keadaan batas dengan membandingkan keamanan pada kondisi keadaan batas.

### **2.3.9 Analisa Struktur dengan Metode Plastisitas (Mu)**

Dalam analisa perancangan struktur (design) dapat menggunakan metode-metode sebagai berikut:

#### **1. Analisis Elastis**

Analisis struktur secara elastis memakai asumsi bahwa tegangan yang terjadi pada stuktur masih terletak dalam batas elastis dan defleksinya kecil. Dengan analisis elastis sebagian besar dari struktur tersebut akan bertegangan rendah dan dapat menimbulkan pemborosan.

Analisis elastis dilakukan dengan menghitung gaya-gaya dalam pada struktur (seperti gaya aksial, gaya geser, momen serta puntir) akibat gaya luar yang bekerja. Gaya-gaya dalam yang terjadi masih dalam batas elastis. Beberapa contoh penyelesaian analisis elastis : metode cross, matrix kekakuan, termasuk metode elemen hingga.








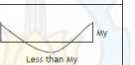
Analisis elastis dapat dilakukan dengan mudah pada semua jenis struktur, karena gaya-gaya yang terjadi masih dalam batas-batas elastis, maka analisis elastis dapat dipakai pada struktur dari semua jenis bahan. Hasil dari perhitungan analisis elastis yang berupa gaya-gaya dalam yang terjadi umumnya digunakan untuk memeriksa keamanan struktur atau untuk design / perancangan.

## 2. Analisis Plastis

Analisis struktur secara plastis memanfaatkan kemampuan struktur secara penuh hingga beban batas akhir (*ultimate load*) sehingga timbul bentuk plastis dengan kekuatan struktur sampai tegangan lelehnya.

Analisis plastis pada umumnya digunakan untuk menentukan besarnya beban runtuh pada suatu struktur serta perilaku keruntuhan. Gaya-gaya dalam yang terjadi telah melebihi batas elastis dan defleksi yang terjadi cukup besar. Dengan demikian analisis plastis hanya dapat diterapkan pada struktur dari bahan yang bersifat duktail, seperti baja dan beton bertulang dengan penduktailan yang baik.

Dalam analisis plastis digunakan persamaan matematik yang relatif sederhana dan lebih mudah dibanding persamaan pada analisis elastis, analisis plastis cocok untuk perhitungan struktur statis tak tentu berderajat banyak, seperti portal, portal beratap lancip dan balok menerus.

Plastic		Elastic	
	mechanism	continuity	
	Equilibrium		
	plastic moment	yield	

Gambar 2. 2 Contoh kondisi struktur pada analisis plastis dan analisis elastis

### 2.3.10 Portal

Portal adalah suatu sistem yang terdiri dari bagian-bagian struktur yang saling berhubungan dengan fungsi menahan beban sebagai suatu kesatuan lengkap yang berdiri sendiri dengan atau tanpa dibantu oleh diafragma horizontal atau sistem lantai. Pada dasarnya sistem struktur bangunan terdiri dari 2 (dua), yaitu dari portal terbuka dan portal tertutup.

#### 1. Portal Terbuka

Portal terbuka yaitu dimana seluruh momen-momen dan gaya yang bekerja pada konstruksi ditahan sepenuhnya oleh pondasi, sedangkan sloof hanya berfungsi untuk menahan dinding saja.

#### 2. Portal Tertutup

Portal tertutup yaitu dimana momen-momen dan gaya yang bekerja pada konstruksi ditahan terlebih dahulu oleh sloof / beam kemudian diratakan, kemudian sebagian kecil beban dilimpahkan ke pondasi. Sloof beam berfungsi sebagai pengikat kolom yang satu dengan yang lain untuk mencegah terjadinya *Differential Settlement*.

#### 3. Beban – beban Pada Portal

Beban suatu konstruksi bangunan dapat dibedakan dalam :

##### 1. Beban mati/tetap

Beban mati/tetap adalah beban yang berasal dari berat bangunan atau unsur bangunan termasuk segala unsur tambahan yang merupakan satu kesatuan dengannya. Pada perencanaan rangka atap, beban mati dihitung juga dengan berat gording. Perhitungan berat gording didapat dari berat profil yang dapat dikalikan dengan jarak antar kuda-kuda.

##### 2. Beban hidup/tidak tetap

Beban hidup/tidak tetap adalah semua muatan yang tidak tetap kecuali muatan angin, gempa dan pengaruh-pengaruh khusus yang misalnya selisih



suhu, susut dan lain-lain. Beban hidup pada rangka atap diambil 100 kg/m.

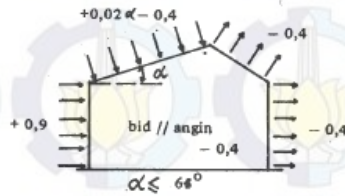
3. Beban angin

Beban angin ditentukan dengan anggapan adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisap) yang bekerja tegak lurus bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan ini dapat diperoleh dengan mengalikan koefisien angin dengan tekanan tiup dari angin.

Tekanan tiup angin minimum 25 kg/m<sup>2</sup>, tekanan tiup untuk lokasi di laut atau tepi laut (sampai jarak 5 km dari pantai) minimum 40 kg/m<sup>2</sup>. Untuk daerah-daerah dekat laut dan daerah lain dimana kecepatan-kecepatan angin mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar dari pada yang ditentukan maka tekanan tiup harus ditentukan dengan menggunakan rumus :

$P = V^2/16$  (kg/cm<sup>2</sup>), dimana V adalah kecepatan angin

Beban angin dibedakan atas 2 jenis yaitu beban angin datang (positif) dan beban angin hisap (negatif). Beban angin datang adalah beban angin yang searah dengan gravitasi bumi, sedangkan angin hisap adalah beban angin yang berlawanan dengan gravitasi bumi. Beban angin menjadi isap berdasarkan sudut yang dibentuk antara kolom dan kuda-kuda bangunan (sisi atap). Apabila sudut yang dibentuk lebih besar dari 20° maka beban angin akan datang, sedangkan sudut yang dibentuk lebih kecil dari 20° maka beban angin yang terjadi hisap. Karenan rumus koefisien beban angin yang diberikan pada struktur kuda-kuda adalah  $0.02\alpha - 0.4$ . Selain itu untuk beban angin hisap sudah mendapatkan faktor reduksi seperti rumus diatas.



Gambar 2. 3 Koefisien angin pada struktur kuda-kuda

### 2.3.11 Batang tekan

Pada struktur baja terdapat 2 (dua) macam batang tekan, yaitu :

1. Batang yang merupakan bagian dari suatu rangka batang. Batang ini dibebani gaya tekan aksial searah panjang batangnya. Umumnya pada suatu rangka batang, batang-batang tepi atas merupakan batang tekan.
2. Kolom merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, balok lantai, dan rangka atap, dan selanjutnya menyalurkan beban-beban tersebut ke pondasi.

Batang-batang lurus yang mengalami tekanan akibat bekerjanya gaya-gaya aksial dikenal dengan sebutan kolom. Untuk kolom-kolom yang pendek ukurannya, kekuatannya ditentukan berdasarkan kekuatan leleh dari bahannya. Untuk kolom-kolom yang panjang kekuatannya ditentukan faktor tekuk elastis yang terjadi, sedangkan untuk kolom-kolom yang ukurannya sedang, kekuatannya ditentukan oleh faktor tekuk plastis yang terjadi.

Sebuah kolom yang sempurna yaitu kolom yang dibuat dari bahan yang bersifat isotropis, bebas dari tegangan-tegangan sampingan, dibebani pada pusatnya serta mempunyai bentuk lurus, akan mengalami perpendekan yang seragam akibat terjadinya regangan tekan yang seragam pada penampangnya.

Kalau beban yang bekerja pada kolom ditambah besarnya secara berangsur-angsur, maka akan mengakibatkan kolom akan mengalami lenturan lateral dan kemudian mengalami keruntuhan akibat terjadinya lenturan tersebut. Beban yang mengakibatkan terjadinya lenturan lateral pada kolom disebut beban kritis dan



merupakan beban maksimum yang masih dapat ditahan oleh kolom dengan aman.

Keruntuhan batang tekan dapat terjadi dalam 2 kategori, yaitu :

1. Keruntuhan yang diakibatkan terlampauinya tegangan leleh. Hal ini umumnya terjadi pada batan tekan yang pendek.
2. Keruntuhan yang diakibatkan terjadinya tekuk. Hal ini terjadi pada batang tekan yang langsing.

### **2.3.12 Sambungan Baut**

Elemen-elemen yang menyusun struktur baja harus digabungkan satu dengan yang lain dengan suatu sistem sambungan. Sambungan berfungsi menyatukan elemen-elemen dan menyalurkan beban dari satu bagian ke bagian yang lain. Sistem Sambungan

1. Jenis penyambung : las, baut, paku keling
2. Pelat penyambung (dan pelat pengisi)

Paku Keling (Rivet)

1. Dasar perhitungan untuk sambungan baut dan paku keling adalah sama, yang membedakan adalah cara pelaksanaan dan bahan yang dipakai.
2. Sambungan keling umumnya terbuat dari mutu normal.
3. Sambungan keling dipasang dengan pemanasan awal. Pada saat membara, material keling diselipkan ke lubang keling dan salah satu ujungnya dipukul sementara ujung lainnya ditahan. Pukulan tersebut akan membentuk kepala keling pada ujungnya dan badan keling akan mengisi penuh lubang keling
3. Pada saat pendinginan, lubang keling akan memberikan gaya tarik awal, sehingga sambungan akan menjadi sangat fit.

Tabel 2. 2 Spesifikasi Baut Dan Paku Keling

## SPESIFIKASI BAUT DAN PAKU KELING

Baut	Mutu	$d_b$ (mm)	Proof Stress (MPa)	Kuat Tarik min. , fu (MPa)
A307	Normal	6,35 – 10,4	-	60
A325	Tinggi	12,7 – 25,4	585	825
		28,6 – 38,1	510	725
A490	Tinggi	12,7 – 38,1	825	1035
Keling	Normal		-	370

Sumber : Peraturan Pembebanan Bangunan Baja Indonesia (**PPBBI**)

Proof stress A307 adalah 70% x fu

Proof stress A490 adalah 80% x fu

Tabel 2. 3 Data Teknis baut HTB

Baut	Mutu	Tegangan geser ijin (kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan tarik ijin (kg/cm <sup>2</sup> )
A307	Normal	960	1600
A325	Tinggi	1225	3080
A490	Tinggi	1540	3780

Sumber : Peraturan Pembebanan Bangunan Baja Indonesia (**PPBBI**)

Baut memikul geser

$$N_g = (F / \phi) \cdot n \cdot N_o$$

Dimana :

$\phi$  = Faktor keamanan

F = Faktor gesekan permukaan untuk

permukaan bersih = 0.35

permukaan galvanis = 0.16 – 0.26

$N_o$  = Pembebana tarik awal ( gaya pratarik awal )

Pengertian Diameter Nominal ( $d_n$ ) dan Diameter Kern ( $d_k$ )

1. Diameter nominal adalah diameter yang tercantum pada nama perdagangan, misalnya M12 artinya diameter nominal ( $d_n$ ) = 12 mm



2. Untuk baut tidak diulir penuh, diameter nominal adalah diameter terluar dari batang baut
3. Untuk baut ulir penuh, diameter inti (dk) adalah diameter dalam dari batang tersebut
4. Diameter yang digunakan untuk menghitung luas penampang :  
Baut tidak di ulir penuh menggunakan dn.  
Baut diulir penuh menggunakan dk .

#### Kerusakan Sambungan

- a. Kerusakan pada baut akibat geser
- b. Kerusakan pada pelat lewat lubang sambungan
- c. Kerusakan pada baut ataupun pelat (mana yang lebih lemah) akibat tumpu.
- d. Kerusakan pada tepi pelat akibat geser

#### Panduan Pemilihan Alat Sambung

1. Sambungan baut sesuai untuk struktur ringan dengan beban statis yang kecil, dan batang sekunder (seperti gording, pengikat, bracing, dsb).
2. Pelaksanaan pekerjaan baut sangat cepat, tidak memerlukan pekerja dengan kecakapan tinggi
3. Bila struktur kelak akan dibongkar pasang, baut lebih sesuai untuk digunakan dibandingkan las
4. Untuk beban fatigue, sebaiknya menggunakan baut mutu tinggi dan las
5. Pemasangan baut mutu tinggi memerlukan perhatian khusus
6. Sambungan las memerlukan baja lebih sedikit, dan penampilan sambungan baik .
7. Pada sambungan yang menerus dan rigid, sambungan las lebih sesuai
8. Pengelasan sebaiknya dikerjakan di bengkel / work shop karena pemeriksaan las di lapangan agak diragukan
9. Pekerjaan las untuk elemen batang yang sangat tebal

memerlukan perhatian ekstra. Lebih seusai jika menggunakan sambungan baut, lagipula sambungan baut lebih kecil bahanya terhadap retak dan rapuh.

### **2.3.13 Konstruksi *Baseplate* ( Pelat Dasar )**

Pelat dasar ( *baseplate* ) adalah salah satu bagian terpenting pada struktur baja, namun perancangan pelat dasar tidak terlalu menjadi perhatian oleh seorang konsultan perencana. Hal ini mengakibatkan mahalanya pelat dasar itu sendiri, sulit pada saat pembuatannya dan resiko tidak stabilnya kolom baja pada saat pemasangan kolom baja tersebut dengan pondasi beton. Pelat dasar merupakan pelat baja yang berperan sebagai penghubung antara struktur atas dan struktur bawah dan berfungsi untuk memancarkan beban dari kolom menuju struktur di bawahnya. Perancangan *baseplate* meliputi dua langkah utama sebagai berikut :

1. Menentukan ukuran panjang dan lebar *baseplate*.
2. Menentukan ketebalan *baseplate*.

Perancangan *baseplate* melibatkan gaya vertikal, momen dan geser, maka dari itu diperlukan perhitungan dimensi *baseplate* untuk menahan gaya-gaya tersebut. Umumnya, ukuran *baseplate* ditentukan dengan melihat batas kekakuan beton pada pondasi saat hancur karena terbebani oleh beban diatasnya dan ketebalan *baseplate* ditentukan dengan melihat batas plastis yang disebabkan oleh bengkoknya bagian kritis pada plat tersebut.

*Baseplate* dengan kolom baja harus terikat atau menjadi satu kesatuan. Oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan suatu alat sambung yang berfungsi untuk menyatukan kolom dengan pelat dasar tersebut. Dalam hal ini alat sambung berupa las yang digunakan dengan alasan, karena las dapat meleburkan antara logam dengan logam sehingga menjadi satu material.

### **2.3.14 Perhitungan Ikatan Angin**

Dikarenakan pada SNI 03-1729-2002 tidak dijelaskan mengenai perencanaan bracing (ikatan angin) pada struktur atap (hanya ada pada bangunan struktur baja tahan gempa), maka referensi diambil dari PPBBI 1984. Menurut PPBBI 1984 halaman



64, pada hubungan gording, ikatan angin harus dianggap ada gaya  $P$  yang arahnya sejajar sumbu gording yang besarnya:

$$P' = 0,01 P \text{ kuda-kuda} + 0,005 n.q.dk.dkq$$

$P$  kuda-kuda = gaya pada bagian tepi kuda-kuda di tempat gording itu

$n$  = jumlah trave antara dua bentang ikatan angin

$q$  = beban atap vertikal terbagi rata

$dk$  = jarak antar kuda-kuda

$dq$  = jarak antar gording

bentang ikatan angin harus dipenuhi syarat :

$$hL \geq \sqrt{0.25 Q E A_{tepi}} \text{ (PPBBI 1984 halaman 64)}$$

$A_{tepi}$  = luas penampang bagian tepi kuda-kuda

$h$  = jarak kuda-kuda pada bentang ikatan angin

$L$  = panjang tepi atas kuda-kuda

Ikatan angin juga menerima beban  $Q$

$$Q = n.q.dk.L$$

$n$  = jumlah trave antara dua bentang

$q$  = beban atap vertikal terbagi rata

$dk$  = jarak antar kuda-kuda

$L$  = panjang tepi atas kuda-kuda

## 2.4 Sistem Rangka Pemikul Momen

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen atau *Moment Resisting Frame*. Istilah ini sering kita dengar pada pembahasan mengenai struktur gedung tahan gempa. SRPM merupakan salah satu metode sewaktu merencanakan sebuah bangunan tahan gempa. Ciri-ciri SRPM antara lain, Beban lateral khususnya gempa, di transfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Jadi peranan balok, kolom, dan sambungan balok kolom di sini sangat penting; Tidak menggunakan dinding geser. Kalaupun ada dinding, dinding tersebut tidak didesain untuk menahan beban lateral, tidak menggunakan bresing (bracing). Untuk struktur baja, penggunaan bresing kadang sangat diperlukan terutama pada arah sumbu lemah kolom. Dalam hal ini,

bangunan tersebut dapat dianalisis sebagai SRPM pada arah sumbu kuat kolom, dan sistem bresing pada arah lainnya. SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berbeda di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, C, D, E, dan F.

#### **2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa**

1. Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua muka atas dan bawah. Tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan. (SNI 2847: 2013 Pasal 21.2.2)
2. Kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi  $c_1$  harus didesain untuk geser sesuai dengan 21.3.3.2. (SNI 2847: 2013 Pasal 21.2.3)

#### **2.4.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah**

Detail tulangan pada komponen struktur rangka harus memenuhi 21.3.4 bila gaya tekan maksimal terfaktor  $P_u$  untuk komponen struktur yang tidak melebihi  $A_g f_c' / 10$ . Bila  $P_u$  lebih besar detail tulangan rangka harus memenuhi 21.3.5. Bila sistem slab dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem penahan gaya gempa, detail tulangan pada sembarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh E harus memenuhi 21.3.6. (SNI 2847: 2013 Pasal 21.3.2)



### 2.4.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Merupakan sistem rangka pemikul momen yang mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi.

## 2.5 Analisa beban lateral atau gempa

Pada dasarnya beban lateral yang bekerja menjadikan analisisnya menjadi lebih kompleks. Menurut SNI 1726-2012, ada dua buah metode analisis yang digunakan untuk menghitung pengaruh beban gempa pada struktur yaitu :

### a) Analisis gaya lateral ekuivalen

Metode ini merupakan analisa sederhana untuk menentukan pengaruh gempa yang hanya digunakan pada bangunan sederhana dan simetris, yang mengasumsikan besarnya gaya gempa berdasarkan hasil perkalian suatu konstanta / massa dari elemen tersebut. Metode ini bertujuan untuk menyederhanakan dan memudahkan perhitungan dengan menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statik ekuivalen. Untuk prosedur analisis gaya lateral ekuivalen harus sesuai dengan SNI 1726-2012 pasal 7.8.

Pada Tugas Akhir ini, nilai  $S_s$  (parameter respon spektral percepatan gempa  $MCE_R$  untuk periode pendek) dan  $S_{Ds}$  (kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periode pendek) diperoleh dari peta Hazard gempa untuk wilayah Surabaya periode ulang 500 tahun agar memenuhi persyaratan perhitungan struktur dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah. Berikut perhitungan  $S_{Ds}$  dan  $S_{D1}$  :

Tabel 2. 4 Fa SNI 1726-2012

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan $MCE_R$ pada periode pendek, $T = 0.2$ detik				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
SA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
SB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SC	1.20	1.20	1.10	1.00	1.00
SD	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00
SE	2.50	1.70	1.20	0.90	0.90
SF	Memerlukan investigasi spesifik dan analisis situs spesifik				

$$\begin{aligned}
 S_s &: 0,3 && \text{(Peta Hazard periode gempa 500 tahun)} \\
 Fa &: 1,56 && \text{( Interpolasi )} \\
 S_{MS} &: Fa \times S_s = 1,56 \times 0,3 = 0,468 \\
 S_{DS} &: \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,468 = \mathbf{0,312} && \text{( KDS C )}
 \end{aligned}$$

Tabel 2. 5 Fv SNI 1726-2012

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan $MCE_R$ pada periode, $T = 1$ detik				
	$S_I \leq 0.10$	$S_I = 0.20$	$S_I = 0.30$	$S_I = 0.40$	$S_I \geq 0.50$
SA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
SB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SC	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30
SD	2.40	2.00	1.80	1.60	1.50
SE	3.50	3.20	2.80	2.40	2.40
SF	Memerlukan investigasi spesifik dan analisis situs spesifik				

$$\begin{aligned}
 S_I &: 0,1 && \text{(Peta Hazard periode gempa 500 tahun)} \\
 F_v &: 2,4 \\
 S_{MI} &: F_v \times S_I = 2,4 \times 0,1 = 0,24 \\
 S_{DI} &: \frac{2}{3} \times S_{MI} = \frac{2}{3} \times 0,24 = 0,16 && \text{( KDS C )}
 \end{aligned}$$

Pada kedua perhitungan diatas dapat dipastikan bangunan dapat dihitung menggunakan metode SRPMM karena kategori desain seismik untuk bangunan mall masuk kedalam KDS C.



## BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

### 3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan pada perencanaan struktur gedung pusat perbelanjaan di Surabaya ini yaitu :

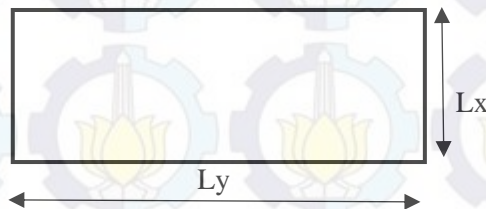
1. Gambar arsitektur dan struktur bangunan.
2. Data tanah
3. Peraturan-peraturan dan buku penunjang lain sebagai dasar teori.

### 3.2 Preliminary

Berikut adalah penentuan dimensi dari komponen-komponen struktur, yaitu :

a. Struktur atas :

1. Penentuan dimensi plat
  - a) Perencanaan plat satu arah sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 9.5 hal.69. Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi layan struktur pada beban kerja.
  - 1) Plat satu arah (one way slab) terjadi apabila  $l_y/l_x > 2$  ; dimana  $L_x$  adalah bentang pendek dan  $L_y$  adalah bentang panjang.



Tebal minimum yang ditentukan dalam tabel 9.5(a) berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan. (SNI 2847-2013, Pasal 9.5.2.1 hal.69)

2) Plat dua arah (two ways slab) terjadi apabila  $l_y/l_x < 2$  ; dimana  $L_x$  adalah bentang pendek dan  $L_y$  adalah bentang panjang.



Tebal plat minimumnya harus memenuhi ketentuan tabel 9.5(b) dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :

- Tanpa penebalan  $> 125$  mm
- Dengan penebalan  $> 100$  mm  
(SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 hal.71)

## 2. Penentuan dimensi balok

Balok merupakan komponen struktural yang menyalurkan beban dari plat menuju ke kolom. SNI 2847-2013 mengatur mengenai tinggi minimum balok yang diizinkan (jika tidak dilakukan kontrol terhadap lendutan). Dimensi ini digunakan untuk preliminary design pada balok dan plat. Berdasarkan pasal 9.5 SNI 2817-2013, dimensi balok dan plat diatur seperti pada tabel dibawah ini.



*Tabel 3. 1 Tebal Minimum Balok Non Prategang atau Plat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung*

Komponen struktur	Tebal minimum, <i>h</i>			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$
<b>CATATAN:</b> Panjang bentang dalam mm. Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut: (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis ( <i>equilibrium density</i> ), $w_c$ , di antara 1440 sampai 1840 kg/m <sup>3</sup> , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09. (b) Untuk $f_y$ selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$ .				

Sumber : SNI 2847-2013, Tabel 9.5(a)

Untuk Tugas Akhir ini, dimensi tinggi balok ditentukan dengan menggunakan persamaan  $h = \frac{L}{12}$  dengan L adalah panjang bentang balok. Untuk lebar balok, digunakan persamaan  $b = \frac{2h}{3}$ . Kedua dimensi tersebut dibulatkan keatas dengan kelipatan 50 mm agar mudah dalam pembuatan dan pengerjaan di lapangan.

### 3. Perencanaan dimensi kolom

Perencanaan dimensi kolom sesuai dengan SNI 2847-2013 Pasal 8.10 hal.62

$$\frac{I_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}} \quad \frac{hk}{bk \text{ atau } dk} \leq 25$$

Dimana  $I_{kolom}$  = inersia kolom ( $1/12 \times b \times h^3$ )

$L_{kolom}$  = tinggi bersih kolom

$I_{balok}$  = inersia balok ( $1/12 \times b \times h^3$ )

$L_{balok}$  = panjang bersih balok

$b_k$  dan  $d_k \geq 250$  mm

### 4. Penentuan dimensi tangga

## 3.3 Perhitungan Pembebanan

Pembebanan struktur gedung pusat perbelanjaan di Surabaya mengacu pada Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan

Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727-2013) dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726-2012). Berikut adalah beban yang bekerja pada gedung :

a. Beban mati

- 1) Spesi tebal 2,5 cm
- 2) Granit
- 3) Dinding
- 4) Plafond dan penggantung
- 5) ME dan plumbing

b. Beban hidup

- 1) Beban hidup pada lantai atap adalah beban pekerja sebesar 96 kg.
- 2) Beban hidup gedung toko/mall ditentukan sebesar 479 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013 Tabel 4.1 hal.25).
- 3) Beban hidup tangga ditentukan sebesar 479 kg/m<sup>2</sup> (SNI 1727-2013 Tabel 4.1).
- 4) Beban angin dihitung (SNI 1727-2013 pasal 26.5 hal.49).

1) Beban Gempa

Struktur harus dirancang hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut yang mengacu pada peraturan gempa di Indonesia SNI 1726-2012 pasal 4.2.2 sebagai berikut :

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
5.  $1,2D + 1E + L$
6.  $0,9D + 1E$
7.  $0,9D + 1W$

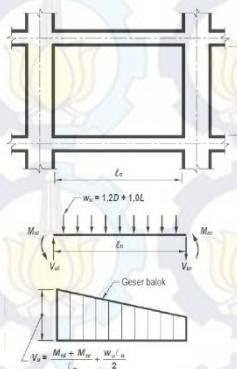


Keterangan :

- D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.
- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
- Lr adalah beban hidup diatap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.
- W adalah beban angin.

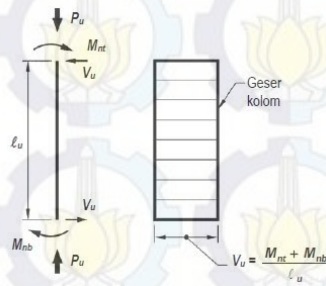
### 3.4 Analisa Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan Program SAP 2000 v.18. Untuk struktur sekunder plat lantai, nilai gaya dalam diperoleh berdasarkan Tabel 13.3.1 pada Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Perhitungan gaya geser untuk balok dan kolom pada SRPMM menurut SNI 2847-2013 pasal 21.3.3 dihitung menggunakan rumus berikut :



Gambar 3. 1 Geser Desain Untuk Balok

- Balok :  $V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{W_u l_n}{2}$



Gambar 3. 2 Geser Desain Untuk Kolom

- Kolom :  $V_u = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u}$

### 3.5 Perhitungan Tulangan Struktur

Komponen-komponen struktur di desain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 2847-2013. Perhitungan meliputi :

#### 1. Perhitungan tulangan plat

Rasio kekakuan balok terhadap plat :

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p} > 1 \quad (\text{Sumber : SNI 2847-2013, Pasal 13.3.6})$$

Dimana :

$E_{cb}$  : modulus elastisitas balok beton

$E_{cp}$  : modulus elastisitas plat beton

$I_b$  : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok

$I_p$  : momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto plat

#### a. Kebutuhan penulangan plat

Perhitungan momen-momen yang terjadi pada plat berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia tahun 1971 (PBBI 1971) tabel 12.2.1 dan 13.3.2 adalah sebagai berikut :



- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
- $\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 8.4.2)
- $\rho_{max} = 0,75 \rho_b$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 10.3.3)
- $m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}}$
- $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$

Jika  $\rho_{perlu} < \rho_{min}$  maka  $\rho_{perlu}$  dinaikkan 30%, sehingga :

$$\rho_{pakai} = 1,3 \times \rho_{perlu}$$

$$A_s = \rho_{perlu} \times b \times d$$

Dimana :

$\rho$  : rasio tulangan tarik non-prategang

$\rho_b$  : rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

- b. Kontrol jarak spasi tulangan (SNI 2847-2013, Pasal 13.3.2 hal.129) dengan rumus  $S_{max} < 2 \times h$

Dimana :

$S_{max}$  : Jarak maksimum sengkang

$h$  : Tebal plat (slab)

- c. Kontrol tulangan susut dan suhu (SNI 2847-2013, Pasal 7.12.2.1). Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton, tetapi tidak kurang dari 0,0014.
- d. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu (SNI 2847-2013, Pasal 13.3.2) dengan rumus  $S_{max} < 2 \times h$

## 2. Perhitungan tulangan balok

- a. Perhitungan tulangan lentur

Momen tumpuan dan lapangan pada balok diperoleh dari output program bantuan SAP 2000 v18. Cek jenis tulangan, merupakan tulangan rangkap atau tulangan tunggal.

- $M_n = \frac{M_u}{\phi}$
- $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$
- $\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_{c'}}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 8.4.2)
- $\rho_{max} = 0,75 \rho_b$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 10.3.3)
- $m = \frac{f_y}{\phi 0,85 \times f_{c'}}$
- $x_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$
- $x_{coba-coba}$  dimana  $x < 0,75b$
- $d = b_w - decking - \phi_{senggang} - \frac{1}{2}\phi_{tulangan\ utama}$
- $d' = decking + \phi_{senggang} + \frac{1}{2}\phi_{tulangan\ utama}$
- $C_c = T_l = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'} \cdot b$
- $A_{sc} = \frac{T_l}{f_y}$
- $M_{ns} = M_n - M_{nc}$

Dimana :

$M_n$  : momen nominal penampang

$M_u$  : momen ultimit penampang

$\Phi$  : faktor reduksi

$P_b$  : rasio tulangan yang memberikan kondisi regangan yang seimbang

$C_c$  : selimut bersih dari permukaan tarik terdekat ke permukaan tulangan tarik lentur

$A_{sc}$  : luas tulangan tarik non-prategang

$M_{ns}$  : momen akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti pada struktur

$M_{nc}$  : momen terfaktor yang digunakan untuk perencanaan komponen struktur tekan



✚ Jika  $(M_n - M_{nc}) > 0$ , maka perlu tulangan rangkap, untuk menentukan kebutuhan tulangan rangkapnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini :

- $C_s = T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{d - d''}$

- $f_s' = \left( \frac{x - d''}{x} \right) \times 600$

Jika  $f_s' > f_y$ , maka tulangan tekan leleh

Jika  $f_s' < f_y$ , maka tulangan tekan tidak leleh

- $A_s' = \frac{C_s}{f_s' - 0,85 f_c'}$

- $A_{ss} = \frac{T_2}{f_y}$

Tulangan perlu

- $A_s = A_{sc} + A_{ss}$

- $A_s = A_s'$

Kontrol jarak spasi tulangan

- $s = \frac{bw - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{ø tulangan sengkang}) - (n \times \text{tulangan utama})}{n - 1}$

Kontrol Kekuatan

- $M_n^o \geq \frac{M_u}{\phi}$

✚ Jika  $(M_n - M_{nc}) < 0$ , maka perlu tulangan tunggal, untuk menentukan kebutuhan tulangan tunggalnya dapat digunakan langkah-langkah berikut ini :

- $m = \frac{f_y}{\phi 0,85 f_c'}$

- $\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$

Jika  $\rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{min}}$  maka  $\rho_{\text{perlu}}$  dinaikkan 30%, sehingga :

- $\rho_{\text{pakai}} = 1,3 \times \rho_{\text{perlu}}$

- $A_s = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$

### b. Perhitungan tulangan geser

Kuat geser beton yang dibebani oleh geser dan lentur  $\phi V_n \geq V_u$

- $V_n = V_c + V_s$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1)
- $V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.1)
- $V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$  (SNI 03-2847-2013, Pasal 11.1.1.2)
- $A_v = \frac{0,35 \times b_w \times s}{f_{yt}}$  (N.A. Husin, Struktur Beton hal 114)

#### Kontrol kondisi

- Kondisi 1 :  $V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$  (Tidak perlu tulangan geser)
- Kondisi 2 :  $0,5 \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$  (Perlu tulangan geser minimum)  
( $V_s \text{ perlu} = V_s \text{ min}$ )
- Kondisi 3 :  $\phi \times V_c < V_u \leq (\phi \times V_c + \phi \times V_{s \text{min}})$   
( $V_{s \text{perlu}} = V_{s \text{min}}$ ) (Perlu tulangan geser minimum)
- Kondisi 4 :  $(\phi \times V_c + \phi \times V_{s \text{min}}) < V_u \leq (\phi \times V_c + \phi \times V_{s \text{max}})$   
( $\phi V_{s \text{perlu}} = V_u - \phi \times V_c$ ) (Perlu tulangan geser minimum)
- Kondisi 5 :  $(\phi \times V_c + \phi \times V_{s \text{max}}) < V_u \leq (\phi \times V_c + 2\phi \times V_{s \text{max}})$   
( $\phi V_{s \text{perlu}} = V_u - \phi \times V_c$ )

(Sumber : Wang, C.Salmon Jilid 1 hal.140-141)

Dimana :

$V_n$  = tegangan geser nominal

$V_c$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton

$V_s$  = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser

$A_v$  = luas tulangan geser

### c. Perhitungan tulangan torsi (puntir)

Pengaruh puntir pada struktur non-prategang dapat diabaikan bila nilai momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari :

- $T_u = \phi \times 0,083 \times \lambda \times \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$  (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.1.a)

Tulangan yang dibutuhkan untuk menahan puntir adalah :

- $\phi T_n \geq T_u$  (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.5)

Sedangkan tulangan sengkang yang dibutuhkan untuk menahan puntir adalah sebagai berikut :

- $T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \cot \theta$  (SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)



Dimana :

$T_u$  = momen puntir terfaktor pada penampang

$T_n$  = kuat momen puntir nominal

$A_{cp}$  = luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton

$P_{cp}$  = keliling luar penampang beton

d. Pengendalian retak akibat lentur

Terbentuknya retak pada beton yang sudah mengeras dapat menyebabkan air merembes dan menjadi korosi pada tulangan. Retak di dalam beton biasanya disebabkan oleh :

- 1) Perubahan bentuk akibat susut, rangkai akibat beban tetap, tegangan akibat suhu dan perbedaan unsur kimia antara bagian beton.
- 2) Tegangan langsung akibat penerusan, beban bertukar, dan lendutan jangka panjang.
- 3) Tegangan akibat beban lentur.

Besarnya lebar retak dapat ditentukan dengan rumus :

$$w = 11 \times 10^{-6} \beta f_s \sqrt[3]{dc} A$$

Nilai lebar retak yang diperoleh tidak boleh melebihi 0,4 mm untuk penampang di dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar. Selain itu, spasi tulangan yang berada paling dekat dengan permukaan tarik tidak boleh melebihi  $s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 C_c$  dan tidak boleh lebih besar dari  $300(280/f_s)$ . (SNI 2847-2013:10.6.4)

Keterangan :

$w$  : lebar retak pada sisi tarik pelat beton (mm)

$B$  :  $h_2/h_1$

$f_s$  : tegangan kerja dalam tulangan (Mpa), boleh diambil  $f_s = 0,6 f_y$

$dc$  : tebal penutup beton, yang diukur dari serat beton tarik maksimum ke titik pusat tulangan tarik terdetak (mm)

$A$  : luas efektif dari sekeliling tulangan tarik utama (mm<sup>2</sup>),

dihitung dari  $A = 2.d.c.s$

c : konstanta empiris/percobaan, yang nilainya

$$c = 11 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{N}$$

Lebar retak maksimum yang diijinkan pada suatu elemen struktur bergantung pada fungsi elemen struktur tersebut dan kondisi lingkungan. ACI commite memberikan batasan lebar retak maksimum yang diijinkan untuk bangunan yaitu :

*Tabel 3. 2 Lebar Retak Maksimum*

Kondisi Lingkungan	Lebar Retak (mm)
- Udara kering atau struktur terlindung	0.41
- Udara lembab atau elemen struktur tak terlindung	0.30
- Air laut basah atau kering	0.15
- Struktur penahan air	0.10

Sumber : Konstruksi Beton 2:12

e. Perhitungan panjang penyaluran tulangan

Panjang penyaluran  $l_d$  dinyatakan dalam diameter  $d_b$ . Nilai  $l_d$  tidak boleh kurang dari 300 mm. Untuk batang ulir atau kawat ulir, nilai  $l_d/d_b$  harus diambil sebagai berikut.

*Tabel 3. 3 Panjang Penyaluran Batang Ulir Dan Kawat Ulir*

	Batang tulangan atau kawat ulir $\leq$ D-19	Batang tulangan $\geq$ D- 22
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $l_d$ tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$



Kasus-kasus lain	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f_c'}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \right] d_b$
------------------	--	--

Sumber : SNI 03-2847-2013, Tabel 12

Panjang penyaluran  $l_d$  dalam mm, untuk batang ulir yang berada dalam kondisi tekan harus dihitung dengan mengalikan panjang penyaluran dasar  $l_{db}$ . Nilai  $l_d$  tidak boleh kurang dari 200 mm. Panjang penyaluran  $l_d$  harus diambil sebesar yang terbesar.

$$\left[ \frac{0,24 \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right] d_b \text{ dan tidak kurang dari } 0,043 \times d_b \times f_y$$

(SNI 02-2847-2013 pasal 12.3.2)

### 3. Perhitungan tulangan kolom

#### a. Kontrol kelangsingan kolom

- $\psi = \frac{\Sigma \left( \frac{EI}{L} \right)_{kolom}}{\Sigma \left( \frac{EI}{L} \right)_{balok}}$
- $EI = \frac{(E_c I_g / 5)}{1 + \beta_{ns}} + E_s I_{sx}$  (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.13.5)
- $P_c = \frac{\pi^2 \times EI_{kolom}}{(k \times L_u)^2}$  (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6)
- $M_c = \delta_{ns} M_2$  Untuk rangka portal tak bergoyang
- $M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$  Untuk rangka portal bergoyang

Apabila  $\frac{k \times l_u}{r} \geq 100$ , maka diperlukan perhitungan momen orde dua, dimana :  $\Psi =$  rasio dari  $\Sigma \left( \frac{EI}{L} \right)_{kolom}$  terhadap  $\Sigma \left( \frac{EI}{L} \right)_{balok}$  pada salah satu ujung komponen struktur;  $E_c =$  Modulus elastisitas beton ;  $I_g =$  Momen inersia penampang bruto beton terhadap garis sumbu ;  $P_c =$  Beban kritis

## b. Pembesaran momen

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7.4 hal. 83)

- $M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$  (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)
- $M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$  Untuk rangka portal bergoyang

Dimana :

$\delta_s$  = faktor pembesar momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan kesamping

$C_m$  = suatu faktor yang menghubungkan diagram momen aktual dengan suatu diagram momen merata ekuivalen

$M_{1s}$  = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

$M_{2s}$  = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

$M_{1ns}$  = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

$M_{2ns}$  = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti

## c. Perhitungan penulangan lentur

Hitung :

- Tentukan harga  $\beta$
- Nilai  $M_{ox}$  dan  $M_{oy}$

$$M_{ox} = M_{nx} + M_{ny} \left[ \frac{h}{b} \right] \left[ \frac{1-\beta}{\beta} \right] ; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$



$$M_{Oy} = M_{ny} + M_{nx} \left[ \frac{b}{h} \right] \left[ \frac{1-\beta}{\beta} \right] ; \text{ untuk } \frac{M_{ny}}{M_{nx}} \leq \frac{b}{h}$$

- $\frac{P_u}{A_g}$  dan  $\frac{\phi M_{Ox}}{A_g x h}$
- $\rho_{perlu}$  didapatkan dari diagram interaksi
- $A_s = \rho_{perlu} x b x h$

d. Kontrol kemampuan kolom

- Hitung  $M_{Ox}$  dan  $M_{Oy}$  baru
- Cari  $\beta$  dengan tabel hubungan interaksi lentur biaksial
- $\left( \frac{M_{ny}}{M_{Oy}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{nx}}{M_{Ox}} \right)^\alpha \leq 1$
- $M^o \geq \frac{M_u}{\phi}$

e. Perhitungan penulangan geser

$$V_u = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_u}$$

Gaya geser yang disumbangkan beton akibat gaya tekan aksial

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 x A_g} \right) (\lambda x \sqrt{f'c'} x b_w x d)$$

(Sumber : SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.2)

f. Jarak spasi tulangan pada kolom

Menurut SNI 02-2847-2013 Pasal 21.3.5.2 hal.182, syarat untuk menentukan jarak spasi maksimum tulangan pada kolom adalah sebagai berikut :

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- 1) 8 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
- 2) 24 kali diameter batang tulangan begel
- 3) Setengah dimensi penampang kolom terkecil
- 4) 300 mm

Panjang **lo** tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini:

- 1) Seperenam kali tinggi bersih kolom

- 2) Dimensi terbesar penampang kolom
- 3) 450 mm

**4. Membuat tabel penulangan yang terpakai pada elemen struktur yang dihitung.**

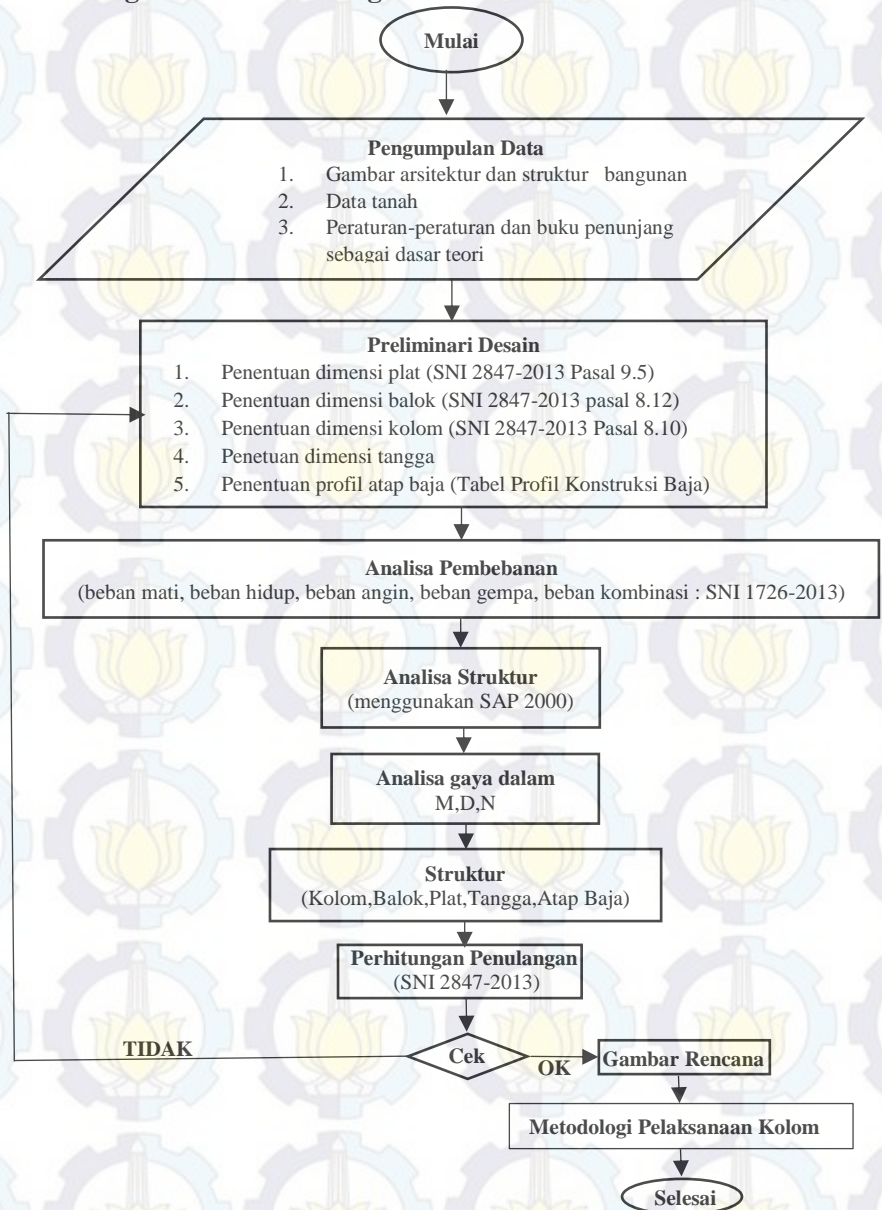
**3.6 Gambar Rencana**

Hasil penggambaran dari perhitungan struktur gedung pusat perbelanjaan di Surabaya ini adalah sebagai berikut :

1. Gambar Arsitektur
  - a. Gambar denah
  - b. Gambar tampak
2. Gambar Potongan
  - a. Potongan memanjang
  - b. Potongan melintang
3. Gambar Penulangan
  - a. Gambar penulangan plat
  - b. Gambar penulangan tangga
  - c. Gambar penulangan balok
  - d. Gambar penulangan kolom
  - e. Gambar kuda – kuda baja
  - f. Gambar tabel penulangan
4. Detil Gambar
  - a. Detil sambungan kuda-kuda
  - b. Detil sambungan kuda-kuda dengan kolom
  - c. Detil panjang penyaluran



### 3.7 Diagram Alir Perhitungan Struktur



### 3.8 Diagram Alir Perhitungan Kuda-kuda Baja

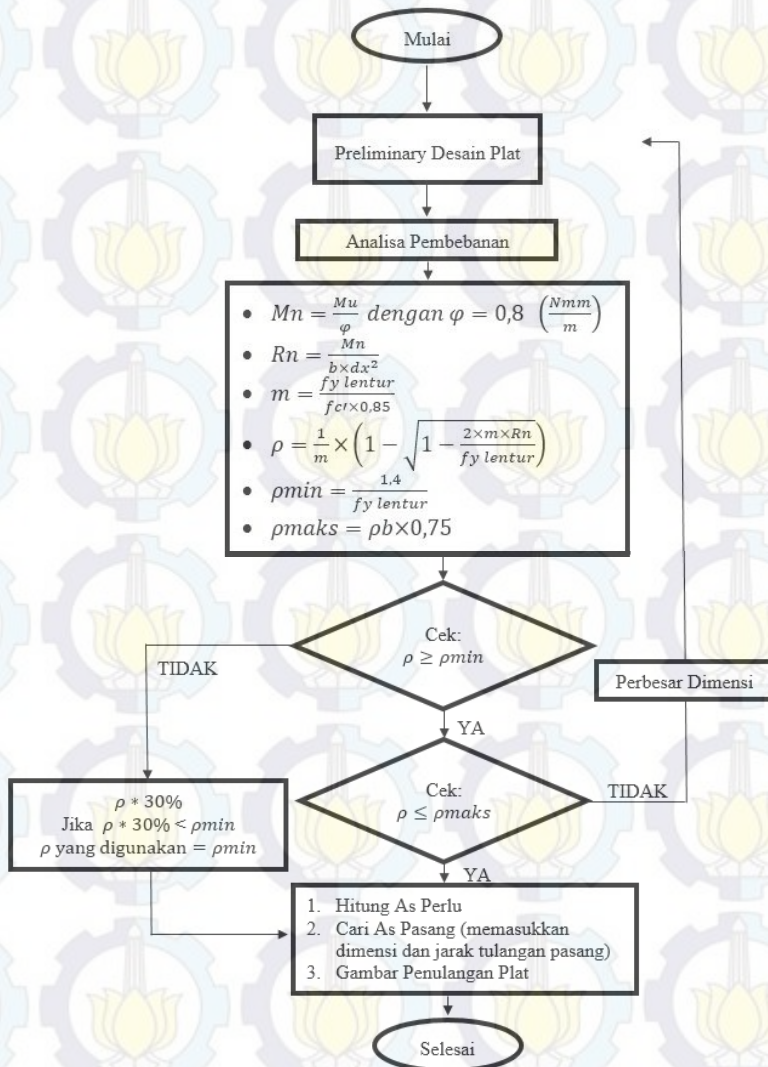




### 3.9 Diagram Alir Gording Baja

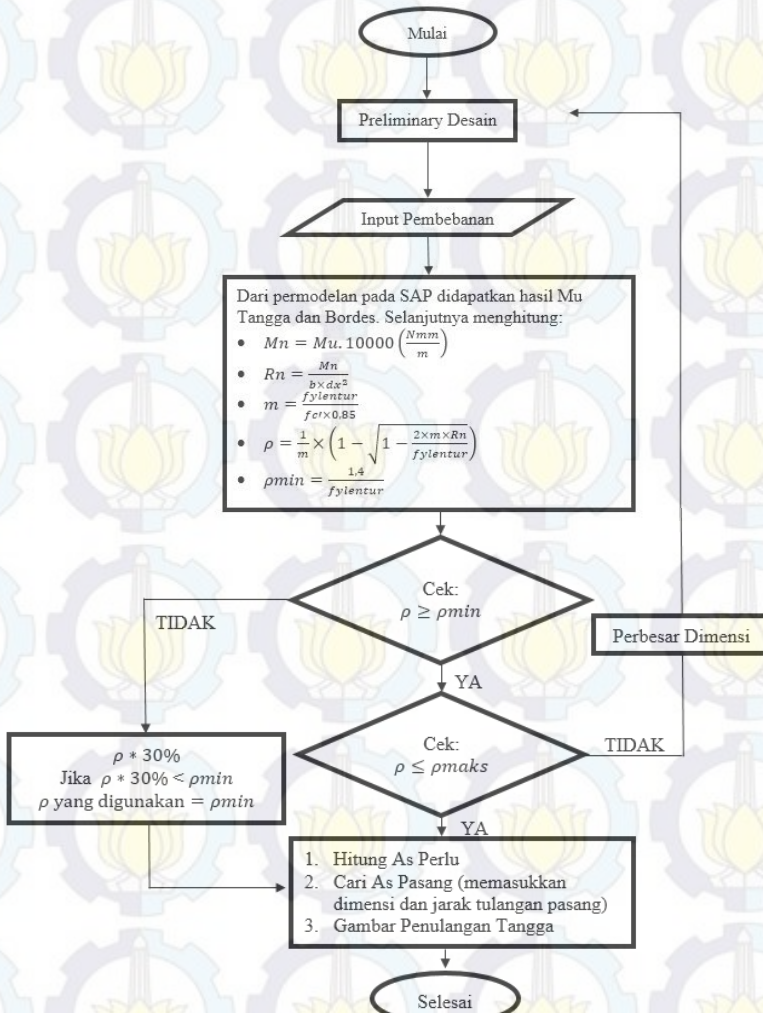


### 3.10 Diagram Alir Perhitungan Plat

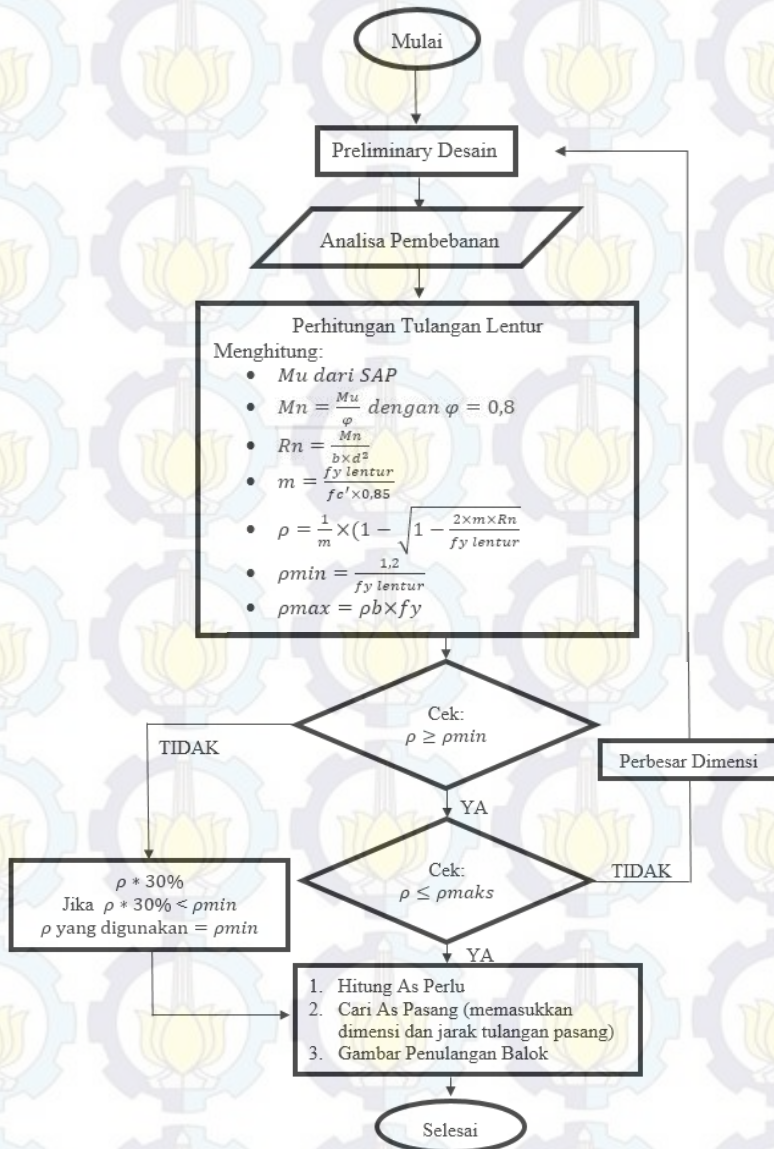




### 3.11 Diagram Alir Perhitungan Plat Tangga

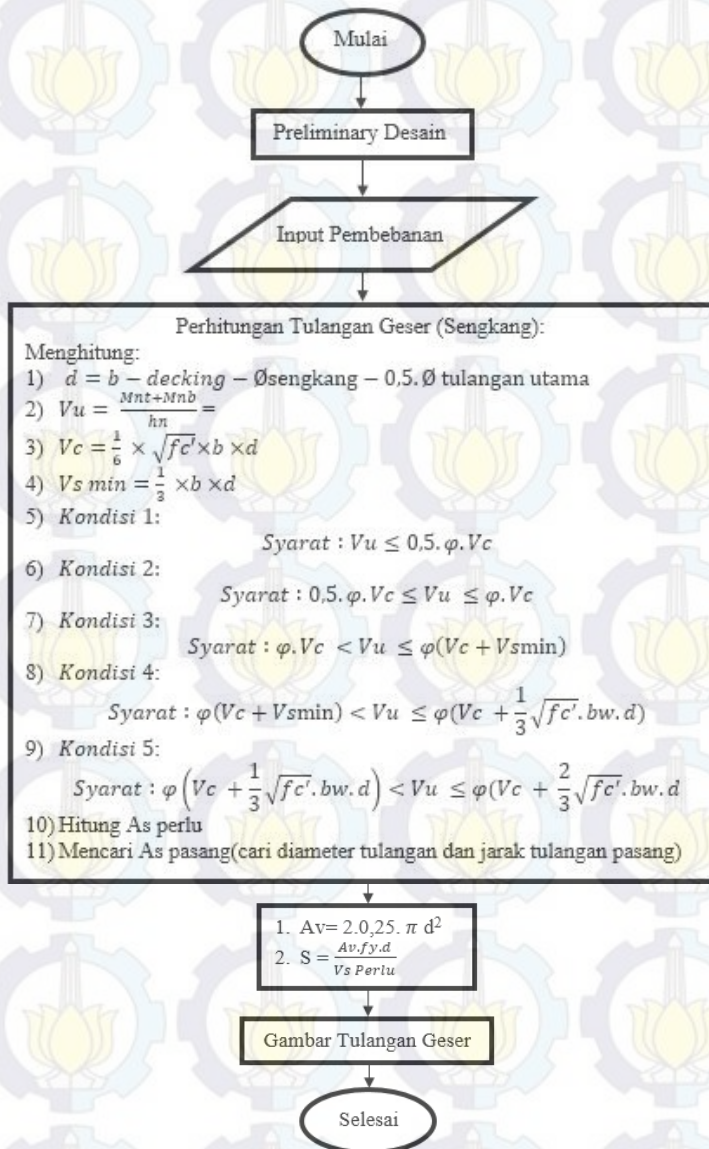


### 3.12 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Balok

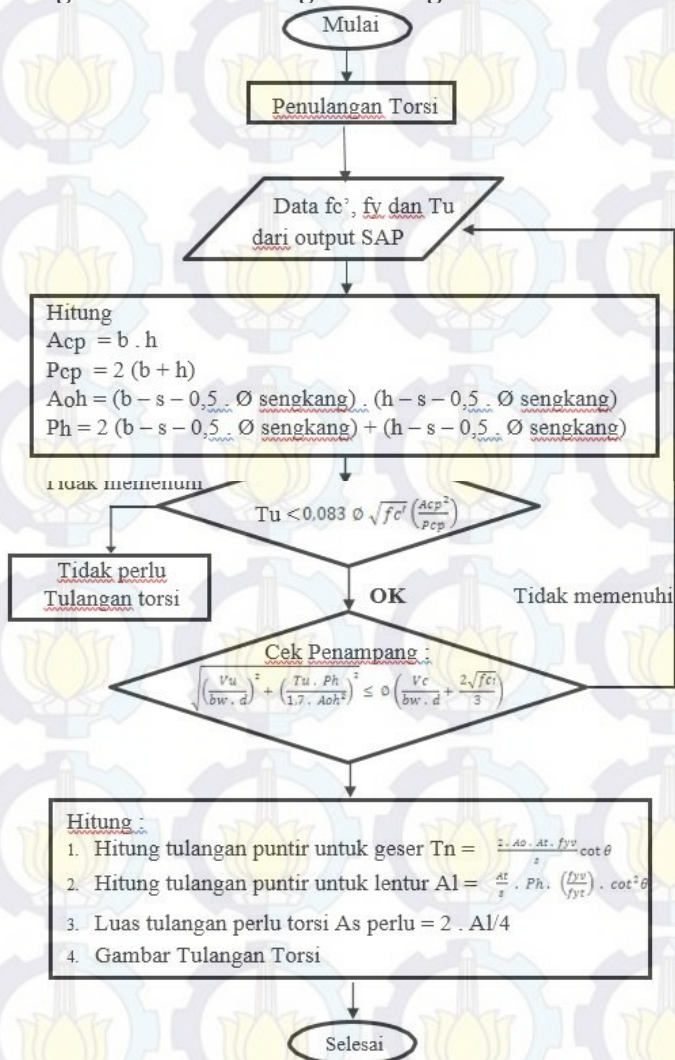




### 3.13 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Balok

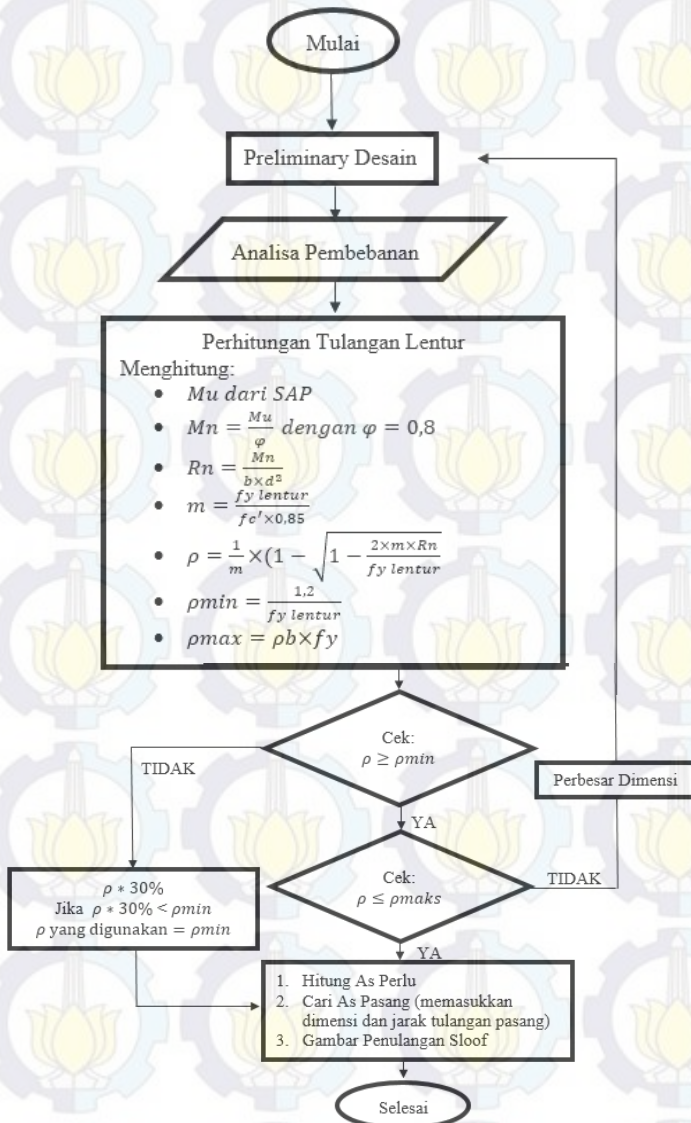


### 3.14 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Torsi Balok

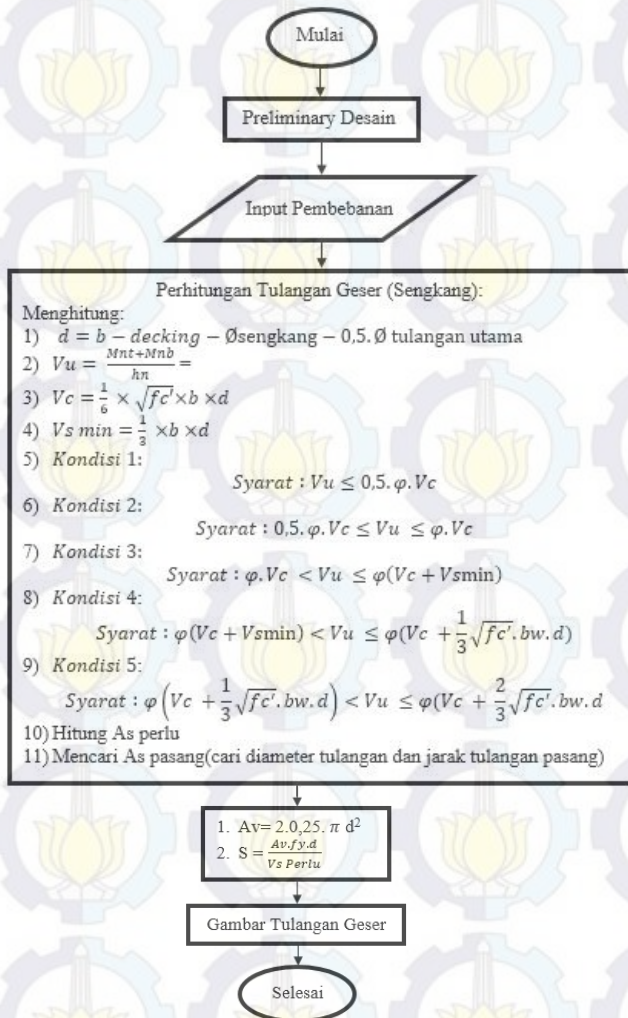




### 3.15 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Lentur Sloof

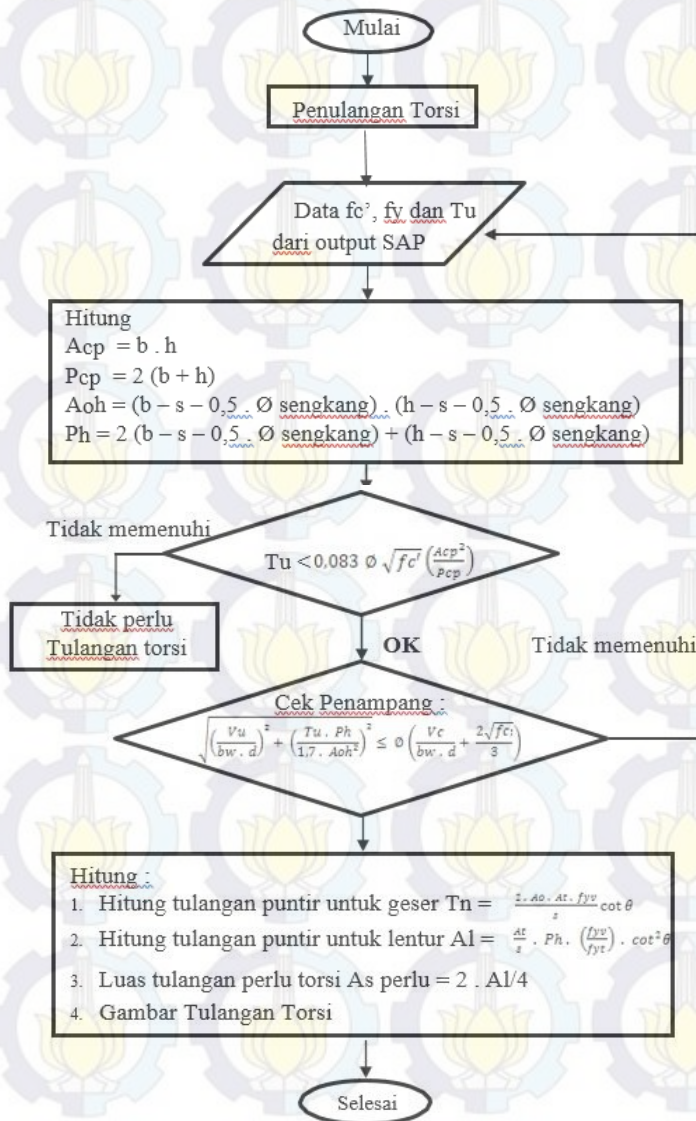


### 3.16 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Geser Sloof

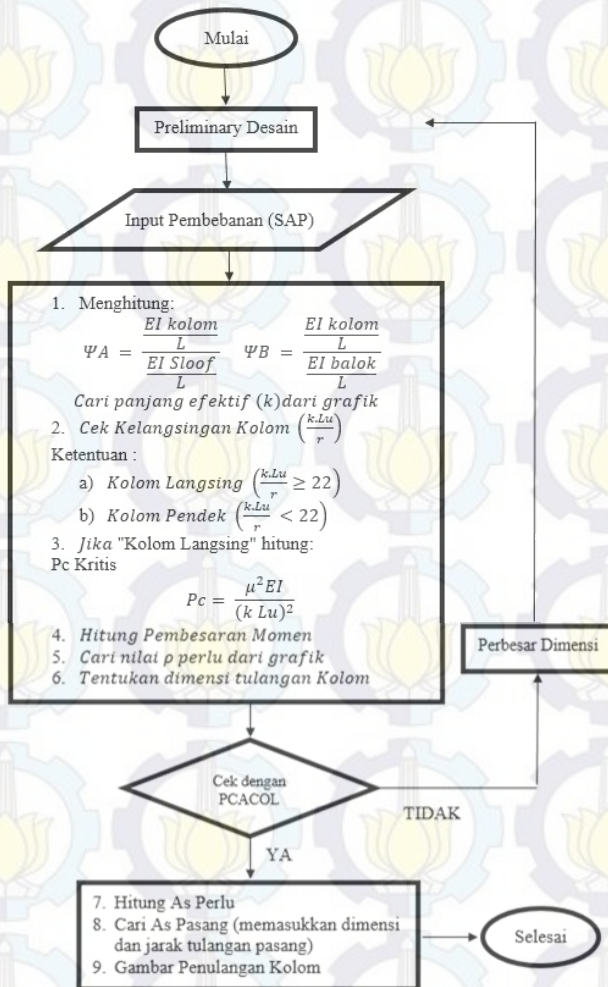




### 3.17 Diagram Alir Perhitungan Tulangan Torsi Sloof

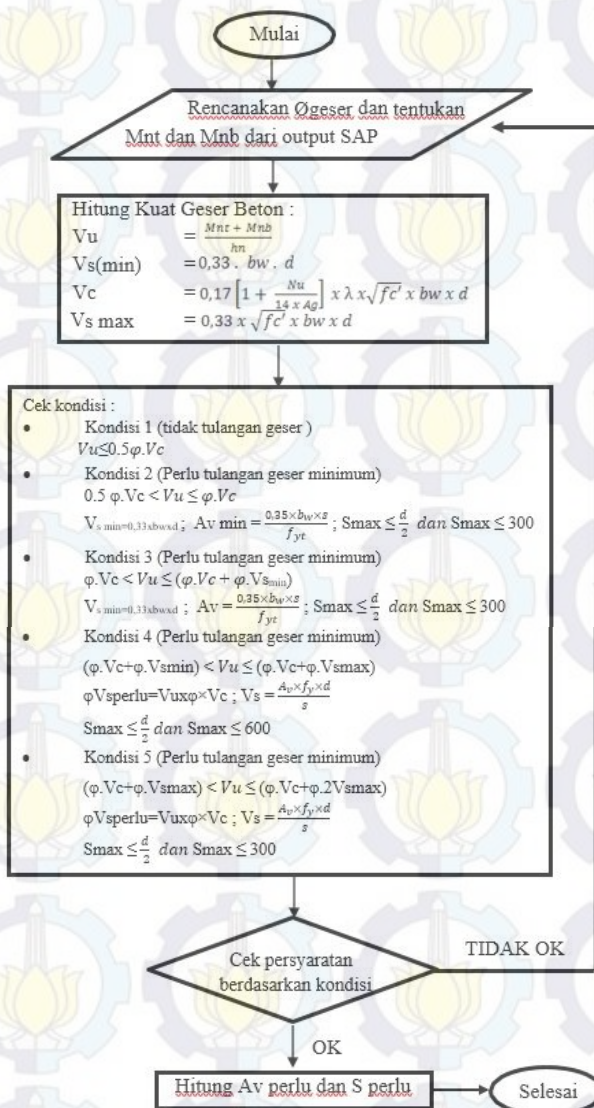


### 3.18 Diagram Alir Perhitungan Kolom

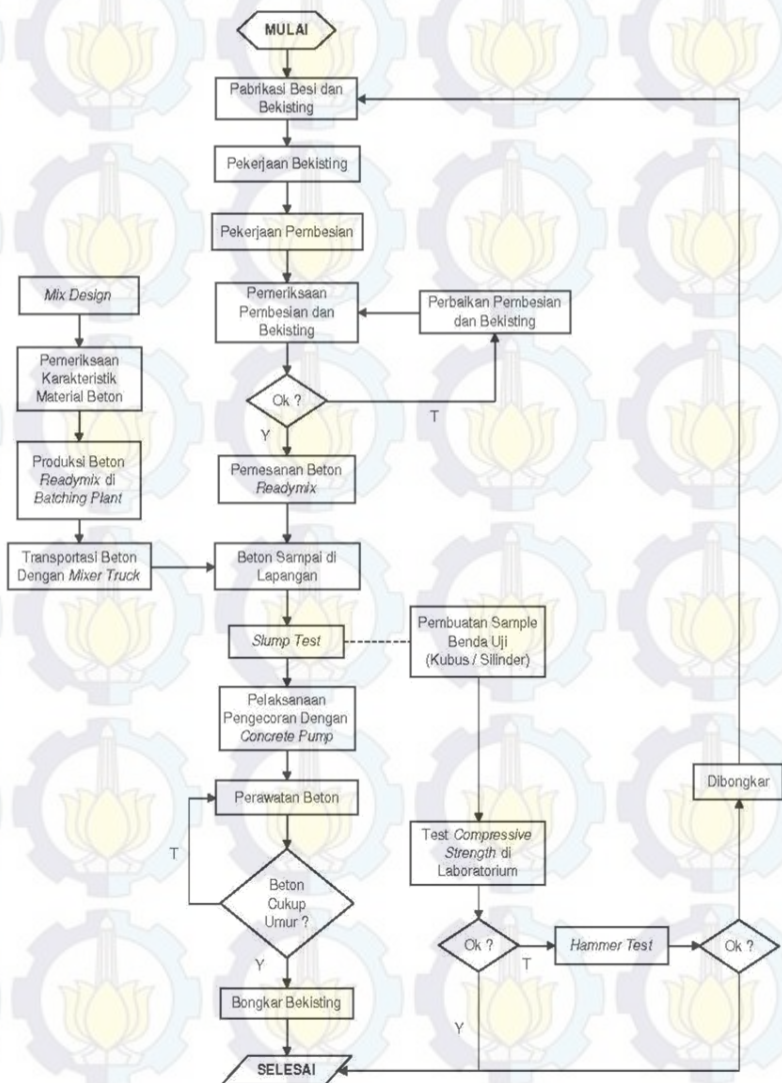




### 3.19 Diagram Alir Perhitungan Geser Kolom



### 3.20 Diagram Alir Metode Pelaksanaan Kolom





## BAB IV ANALISA DAN PERHITUNGAN

### 4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Dalam perencanaan struktur bangunan gedung, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan gedung tersebut.

#### 4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

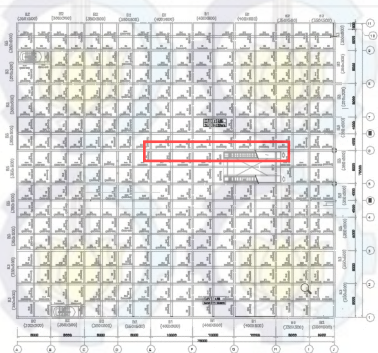
Dalam perencanaan dimensi balok terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi balok dalam struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya adalah sebagai berikut :

##### *A. Balok Induk Memanjang*

##### 1. Data – data perencanaan :

- a. Tipe Balok : B1
- b. As Balok : 4 (F-F')
- c. Bentang Balok : 1000 cm
- d. Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- e. Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

##### 2. Gambar Perencanaan



*Gambar 4. 1 Denah Perencanaan Balok B1*

### 3. Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{1}{16} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

(SNI 03-2847-2013)

$$h \geq \frac{1}{16} \times 1000 \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right) \quad \text{Tabel 9.5 a}$$

$$h \geq 60,71 \text{ cm}$$

$$h \approx 60 \text{ cm}$$

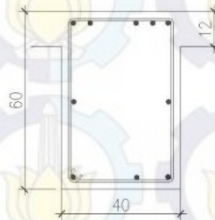
$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$b \approx 40 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok B1 adalah 40/60 cm.

### 4. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 2 Gambar Rencana B1

### B. Balok Induk Memanjang

#### 1. Data – data perencanaan :

- |                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| a. Tipe Balok                       | : B2      |
| b. As Balok                         | : 9I - 9J |
| c. Bentang Balok                    | : 800 cm  |
| d. Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ ) | : 400 Mpa |
| e. Mutu Beton ( $f'_c$ )            | : 30 Mpa  |



## 2. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 3 Denah Perencanaan Balok B2

## 3. Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{1}{16} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

(SNI 03-2847-2013)

$$h \geq \frac{1}{16} \times 800 \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$b = \frac{2}{3} \times 50$$

Tabel 9.5 a

$$h \geq 48,57 \text{ cm}$$

$$b \approx 35 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok B2 adalah 35/50 cm.

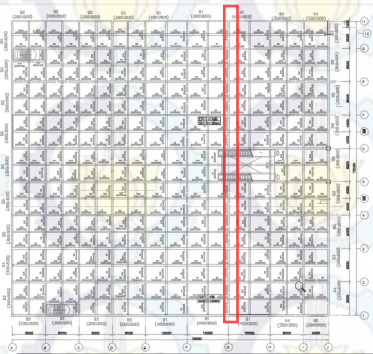
## 4. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 4 Gambar Rencana B2

### C. Balok Induk Melintang

1. Data – data perencanaan :
  - a. Tipe Balok : B3
  - b. As Balok : G1 – G10
  - c. Bentang Balok : 800 cm
  - d. Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
  - e. Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
2. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 5 Denah Perencanaan Balok B3

### 3. Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{1}{16} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

(SNI 03-2847-2013)

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{16} \times 800 \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$b = \frac{2}{3} \times 50$$

Tabel 9.5 a

$$h \geq 48,57 \text{ cm}$$

$$b \approx 35 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok B3 adalah 35/50 cm.



#### 4. Gambar Perencanaan



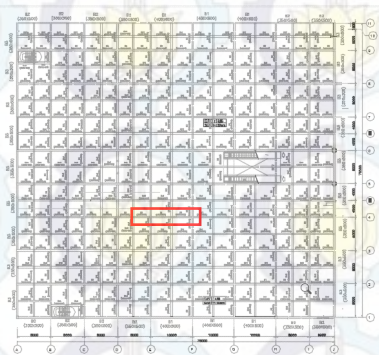
Gambar 4. 6 Gambar Rencana B3

#### D. Balok Anak Memanjang

##### 1. Data – data perencanaan :

- a. Tipe Balok : BA1
- b. As Balok : 4 (E-E')
- c. Bentang Balok : 1000 cm
- d. Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- e. Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa

##### 2. Gambar Perencanaan.



Gambar 4. 7 Denah Perencanaan Balok BA1

### 3. Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{1}{21} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

(SNI 03-2847-2013)

$$h \geq \frac{1}{21} \times 1000 \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

Tabel 9.5 a

$$h \geq 46,25 \text{ cm}$$

$$h \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 50$$

$$b \approx 35 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok BA1 adalah 35/50 cm.

### 4. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 8 Gambar Rencana BA1

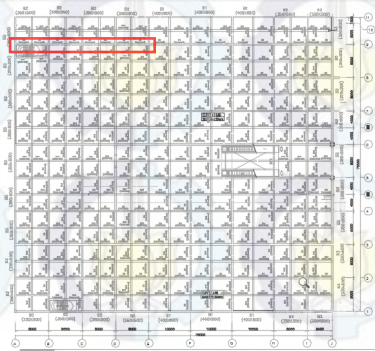
### E. Balok Anak Memanjang

#### 1. Data – data perencanaan :

- |                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| a. Tipe Balok                       | : BA2     |
| b. As Balok                         | : 9A – 9E |
| c. Bentang Balok                    | : 800 cm  |
| d. Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ ) | : 400 Mpa |
| e. Mutu Beton ( $f_c'$ )            | : 30 Mpa  |



## 2. Gambar Perencanaan.



Gambar 4. 9 Denah Perencanaan Balok BA2

## 3. Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{1}{21} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

(SNI 03-2847-2013)

$$h \geq \frac{1}{21} \times 800 \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

Tabel 9.5 a

$$h \geq 37,00 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

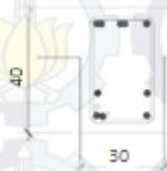
$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 40$$

$$b \approx 30 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok BA2 adalah 30/40 cm.

## 4. Gambar Perencanaan



Gambar 4. 10 Gambar Rencana BA2

### F. Balok Anak Melintang

1. Data – data perencanaan :
  - a. Tipe Balok : BA3
  - b. As Balok : H'1 – H'10
  - c. Bentang Balok : 800 cm
  - d. Kuat Leleh Tul. Lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
  - e. Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
2. Gambar Perencanaan.



Gambar 4. 11 Denah Perencanaan Balok BA3

### 3. Perhitungan Perencanaan

$$h \geq \frac{1}{21} \times L \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (\text{SNI 03-2847-2013})$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{1}{21} \times 800 \left( 0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$b = \frac{2}{3} \times 40$$

Tabel 9.5 a

$$h \geq 37,00 \text{ cm}$$

$$b \approx 30 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok BA3 adalah 30/40 cm.



#### 4. Gambar Perencanaan

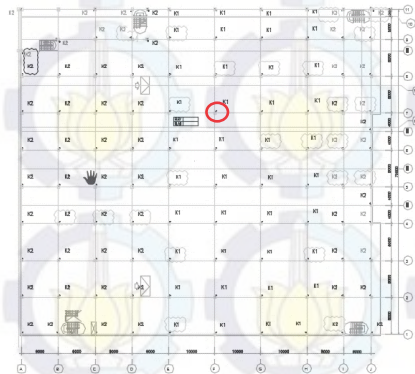


*Gambar 4. 12 Gambar Rencana BA2*

##### 4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Dalam perencanaan dimensi kolom terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi kolom dalam perencanaan struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya sebagai berikut :

1. Data – data Perencanaan
  - a. Tipe Kolom : K1
  - b. Dimensi Balok : 40 x 60 cm
  - c. Panjang Balok : 1000 cm
  - d. Tinggi Kolom : 500 cm
2. Gambar Denah Perencanaan



*Gambar 4. 13 Rencana Denah Kolom 1*

### 3. Perhitungan Perencanaan

$$\begin{aligned} I_{\text{Balok}} &= 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 40 \text{ cm} \times (60 \text{ cm})^3 \\ &= 720000 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

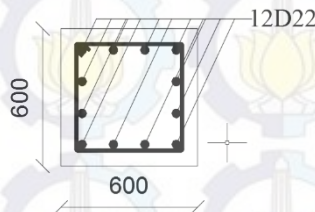
$$\begin{aligned} I_{\text{Kolom}} &= \frac{L_{\text{Balok}} \times I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Kolom}}} \\ &= \frac{500 \text{ cm} \times 720000 \text{ cm}^4}{1000 \text{ cm}} \\ &= 360000 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Direncanakan  $b_{\text{kolom}} = h_{\text{kolom}}$

$$\begin{aligned} I_{\text{Kolom}} &= 1/12 \times b \times h^3 \\ 360000 \text{ cm}^4 &= 1/12 \times (h)^4 \\ h^4 &= 4320000 \text{ cm} \\ h &= 45,59 \text{ cm} \\ h^3 &\approx 60 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka direncanakan dimensi kolom adalah 60/60 cm.

### 4. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi.



Gambar 4. 14 Gambar Rencana Kolom 60/60

### 1. Data – data Perencanaan

- Tipe Kolom : K2
- Dimensi Balok : 35 x 50 cm
- Panjang Balok : 800 cm
- Tinggi Kolom : 500 cm



## 2. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 15 Rencana Denah Kolom 2

## 3. Perhitungan Perencanaan

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Balok}} &= 1/12 \times b \times h^3 \\
 &= 1/12 \times 35 \text{ cm} \times (40 \text{ cm})^3 \\
 &= 364583 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

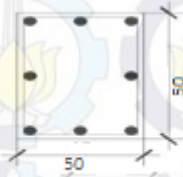
$$\begin{aligned}
 I_{\text{Kolom}} &= \frac{L_{\text{Kolom}} \times I_{\text{Balok}}}{L_{\text{Balok}}} \\
 &= \frac{500 \text{ cm} \times 364583 \text{ cm}^4}{800 \text{ cm}} \\
 &= 227864,6 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Direncanakan b kolom = h kolom

$$\begin{aligned}
 I_{\text{Kolom}} &= 1/12 \times b \times h^3 \\
 227864,6 \text{ cm}^4 &= 1/12 \times (h)^4 \\
 h^4 &= 2734375 \text{ cm} \\
 h &= 40,66 \text{ cm} \\
 h^3 &\approx 50 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan dimensi kolom adalah 50/50 cm.

#### 4. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi.



Gambar 4. 16 Gambar Rencana Kolom 50/50

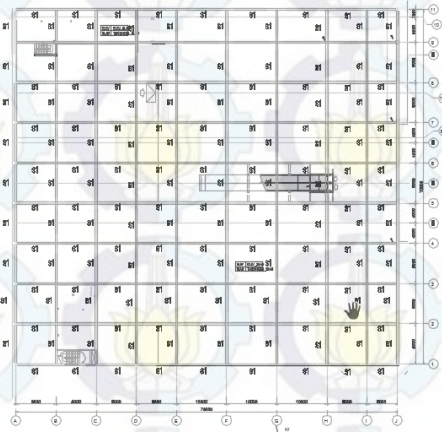
#### 4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Dalam perencanaan dimensi sloof terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan dan gambar hasil perencanaan dimensi sloof dalam perencanaan struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya adalah sebagai berikut :

##### 1. Data – data Perencanaan

- a. Tipe Sloof : S1
- b. Dimensi Kolom : 60 x 60 cm
- c. Panjang Sloof : 1000 cm
- d. Tinggi Kolom : 500 cm

##### 2. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 17 Rencana Denah Sloof S1



### 3. Perhitungan Perencanaan

$$\begin{aligned} I_{\text{Kolom}} &= 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 60 \text{ cm} \times (60 \text{ cm})^3 \\ &= 1080000 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

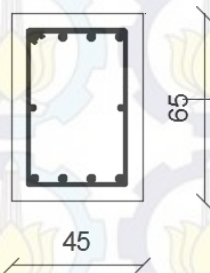
$$\begin{aligned} I_{\text{Sloof}} &= \frac{L_{\text{Sloof}} \times I_{\text{Kolom}}}{L_{\text{Kolom}}} \\ &= \frac{1000 \text{ cm} \times 1080000 \text{ cm}^4}{500 \text{ cm}} \\ &= 2160000 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Direncanakan b sloof =  $2/3h$  cm

$$\begin{aligned} I_{\text{Sloof}} &= 1/12 \times b \times h^3 \\ 2160000 \text{ cm}^4 &= 1/12 \times (2/3h) \text{ cm} \times h^3 \\ h^4 &= 17280000 \text{ cm} \\ h &= 64,474 \text{ cm} \approx 65 \text{ cm} \\ b &= 2/3 \times h \\ &= 2/3 \times 65 \\ &= 43,33 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka direncanakan dimensi sloof S1 adalah 45/65 cm.

### 4. Gambar Hasil Perencanaan Dimensi



Gambar 4. 18 Gambar Rencana Sloof S1 45/65

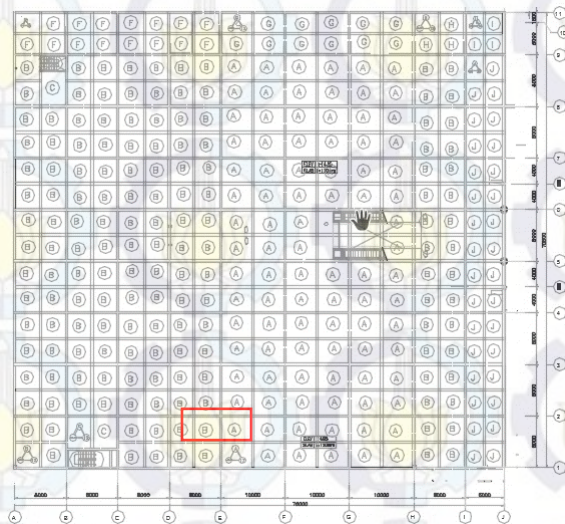
#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat

Dalam perencanaan dimensi pelat terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan dan perhitungan perencanaan dalam perencanaan struktur Gedung Pusat Perbelanjaan adalah sebagai berikut :

##### 1. Data – data Perencanaan

- a. Tipe pelat : B
- b. Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- c. Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 mpa
- d. Rencana tebal pelat : 12 cm
- e. Bentang sumbu panjang ( $L_y$ ) : 400 cm
- f. Bentang sumbu pendek ( $L_x$ ) : 400 cm
- g. Dimensi balok as 2 ( D'-E ) : 35/50
- h. Dimensi balok as E ( 2-1' ) : 35/50
- i. Dimensi balok as D' ( 2-1' ) : 30/40
- j. Dimensi balok as 1' ( D'-E ) : 30/40

##### 2. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 19 Gambar Rencana Pelat



### 3. Perhitungan Perencanaan

- Bentang bersih pelat sumbu panjang ( $l_n$ )

$$l_y : 400 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as D' 2-1' } : 30 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as E 2-1' } : 35 \text{ cm}$$

$$l_n = l_y - \left( \frac{b \text{ balok as D' 2-1'}}{2} + \frac{b \text{ balok as E 2-1'}}{2} \right)$$

$$l_n = 400 - \left( \frac{30}{2} + \frac{35}{2} \right)$$

$$l_n = 367,5 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek ( $s_n$ )

$$l_x : 400 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 1' D'-E } : 30 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 2 D'-E } : 35 \text{ cm}$$

$$s_n = l_x - \left( \frac{b \text{ balok as 1' D'-E}}{2} + \frac{b \text{ balok as 2 D'-E}}{2} \right)$$

$$s_n = 400 - \left( \frac{30}{2} + \frac{35}{2} \right)$$

$$s_n = 367,5 \text{ cm}$$

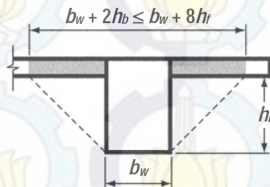
Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek

$$\beta = \frac{l_n}{s_n}$$

$$\beta = \frac{367,5}{367,5}$$

$$\beta = 1 < 2 \quad \text{Two way slab ( pelat dua arah)}$$

- Tinjau balok induk (B2) as 2 D'-E = (B3) as E 2-1'



$$b_w : 35 \text{ cm}$$

$$h_w : 50 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi plat (t) : 12 cm}$$

$$\begin{aligned}
 &\triangleright b_{e1} = b_w + 2h_w \\
 &b_{e1} = b_w + 2(h-t) \\
 &b_{e1} = 35 + 2(50-12) \\
 &b_{e1} = 111 \\
 &\triangleright b_{e2} = b_w + (8 \times t) \\
 &b_{e2} = 35 + (8 \times 12) \\
 &b_{e2} = 131
 \end{aligned}$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)**

Maka digunakan nilai  $b_e$  terkecil yaitu 111 cm

- Faktor modifikasi

Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)} \\
 k &= \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)} \quad k = 0,58217
 \end{aligned}$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$\begin{aligned}
 I_b &= K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12} \\
 I_b &= 0,58 \cdot \frac{35 \cdot 50^3}{12} \\
 I_b &= 212250,0982 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

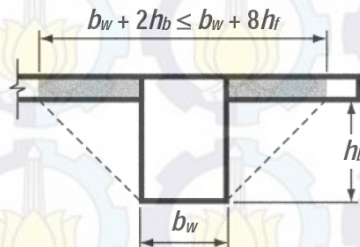
$$\begin{aligned}
 I_p &= \frac{b_p \cdot t^3}{12} \\
 I_p &= \frac{\{0,5 (400 + 400)\} \cdot 12^3}{12} \\
 I_p &= 57600 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 &= \frac{I_b}{I_p} \\
 \alpha_1 &= \frac{212250,0982 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4} \\
 \alpha_1 &= \alpha_2 = 3,6849
 \end{aligned}$$



- Tinjau balok anak (BA3) as D' 2-1' = (BA2) as 1' D'-E



$$b_w : 30 \text{ cm}$$

$$h : 40 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi plat (t)} : 12 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } b_{e1} &= b_w + 2h_w \\ b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ b_{e1} &= 30 + 2(40-12) \\ b_{e1} &= 86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ b_{e2} &= 30 + (8 \times 12) \\ b_{e2} &= 126 \end{aligned}$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)**

Maka digunakan nilai  $b_e$  terkecil yaitu 86 cm

- Faktor modifikasi

Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chu-Kia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 0,57296$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$I_b = K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 0,573 \cdot \frac{30 \cdot 40^3}{12}$$

$$I_b = 91674,256 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{\{0,5 (400 + 400)\} \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_4 = \frac{91674,256 \text{ cm}^4}{57600 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_4 = 1,591$$

Dari perhitungan di atas didapatkan,

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{3,68 + 3,68 + 1,59 + 1,59}{4}$$

$$= 2,638$$

Berdasarkan **SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3(c)** Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut

$$h = \frac{\ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari } 90 \text{ mm}$$

sehingga,

$$h = \frac{3675 \times \left( 0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + (9 \times 1)} > 90 \text{ mm}$$

$$h = 88,67 \text{ mm} < 90 \text{ mm}$$

maka dimensi pelat lantai digunakan 120 mm.

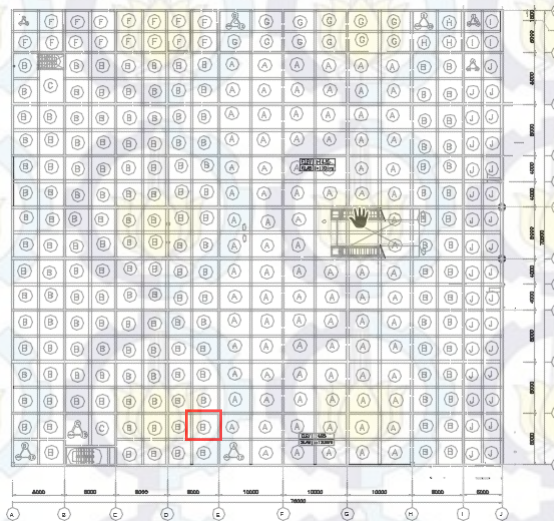
#### 1. Data – data Perencanaan

- |                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| a. Tipe pelat                    | : A       |
| b. Kuat tekan beton ( $f_c'$ )   | : 30 Mpa  |
| c. Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) | : 400 mpa |
| d. Rencana tebal pelat           | : 12 cm   |



- e. Bentang sumbu panjang ( $L_y$ ) : 500 cm
- f. Bentang sumbu pendek ( $L_x$ ) : 400 cm
- g. Dimensi balok as 2 ( E-E' ) : 40/60
- h. Dimensi balok as E ( 2-1' ) : 35/50
- i. Dimensi balok as E' ( 2-1' ) : 30/40
- j. Dimensi balok as 1' ( E-E' ) : 35/50

### 2. Gambar Denah Perencanaan



*Gambar 4. 20 Gambar Rencana Pelat*

### 3. Perhitungan Perencanaan

- Bentang bersih pelat sumbu panjang ( $l_n$ )

$$l_y : 500 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as E 2-1' } : 35 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as E' 2-1' } : 30 \text{ cm}$$

$$l_n = l_y - \left( \frac{b \text{ balok as E 2-1' }}{2} + \frac{b \text{ balok as E' 2-1' }}{2} \right)$$

$$l_n = 500 - \left( \frac{35}{2} + \frac{30}{2} \right)$$

$$l_n = 467,5 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek ( $S_n$ )

$$l_x : 400 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 1' E-E'} : 35 \text{ cm}$$

$$b \text{ balok as 2 E-E'} : 40 \text{ cm}$$

$$S_n = I_y - \left( \frac{b \text{ balok as 1' D'-E}}{2} + \frac{b \text{ balok as 2 D'-E}}{2} \right)$$

$$S_n = 400 - \left( \frac{35}{2} + \frac{40}{2} \right)$$

$$S_n = 362,5 \text{ cm}$$

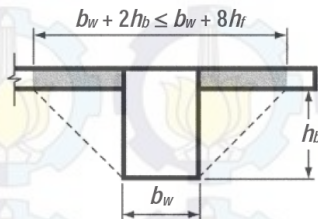
Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek

$$\beta = \frac{l_n}{\frac{S_n}{467,5}}$$

$$\beta = \frac{362,5}{467,5}$$

$$\beta = 1,289 < 2 \quad \text{Two way slab ( pelat dua arah)}$$

- Tinjau balok induk (B1) as 2 E-E'



$$b_w : 40 \text{ cm}$$

$$h_w : 60 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi plat (t)} : 12 \text{ cm}$$

$$\rightarrow b_{e1} = b_w + 2h_w$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h-t)$$

$$b_{e1} = 40 + 2(60-12)$$

$$b_{e1} = 136$$

$$\rightarrow b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$b_{e2} = 40 + (8 \times 12)$$

$$b_{e2} = 136$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Maka digunakan nilai  $b_e$  terkecil yaitu 136 cm



- Faktor modifikasi

Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) \times \left(\frac{12}{60}\right)} k = 0,60406$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$I_b = K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 0,604 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12}$$

$$I_b = 434926,7027 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{\{0,5 (400 + 500)\} \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 64800 \text{ cm}^4$$

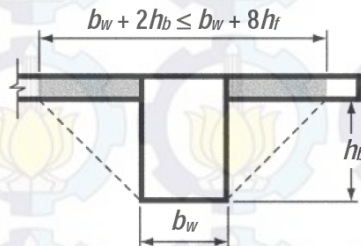
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = \frac{434926,7027 \text{ cm}^4}{64800 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_1 = 6,71183$$

- Tinjau balok anak (BA1) as 1' E-E' = (B3) as E' 2-1'



$$b_w : 35 \text{ cm}$$

$$h : 50 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi plat (t)} : 12 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright b_{e1} &= b_w + 2h_w \\ b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ b_{e1} &= 35 + 2(50-12) \\ b_{e1} &= 111 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \blacktriangleright b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ b_{e2} &= 35 + (8 \times 12) \\ b_{e2} &= 131 \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)

Maka digunakan nilai  $b_e$  terkecil yaitu 111 cm

- Faktor modifikasi

Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chukia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{111}{35} - 1\right) \times \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 0,58217$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$I_b = K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 0,582 \cdot \frac{35 \cdot 50^3}{12}$$

$$I_b = 212250,0982 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{\{0,5(400 + 500)\} \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 64800 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

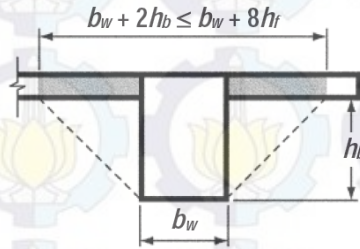
$$\alpha_2 = \alpha_3 = \frac{I_b}{I_p}$$



$$\alpha_2 = \alpha_3 = \frac{212250,0982 \text{ cm}^4}{64800 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_2 = \alpha_3 = 3,275$$

- Tinjau balok anak (BA3) as E 2-1'



$$b_w : 30 \text{ cm}$$

$$h : 40 \text{ cm}$$

$$\text{asumsi plat (t) : 12 cm}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow b_{e1} &= b_w + 2h_w \\ b_{e1} &= b_w + 2(h-t) \\ b_{e1} &= 30 + 2(40-12) \\ b_{e1} &= 86 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ b_{e2} &= 30 + (8 \times 12) \\ b_{e2} &= 126 \end{aligned}$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4)**

Maka digunakan nilai  $b_e$  terkecil yaitu 86 cm

- Faktor modifikasi  
Desain Beton Bertulang Edisi keempat jilid 2 (Chu-Kia Wang dan Wang G Salmon 16.4.2.b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right) + 4 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{t}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12}{40}\right) + 4 \left(\frac{12}{40}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \times \left(\frac{12}{40}\right)}$$

$$k = 0,57296$$

- Momen Inersia penampang T ( $I_b$ )

$$I_b = K \cdot \frac{b_w \cdot h^3}{12}$$

$$I_b = 0,573 \cdot \frac{30 \cdot 40^3}{12}$$

$$I_b = 91674,2564 \text{ cm}^4$$

- Momen Inersia lajur plat ( $I_p$ )

$$I_p = \frac{b_p \cdot t^3}{12}$$

$$I_p = \frac{\{0,5 (400 + 500)\} \cdot 12^3}{12}$$

$$I_p = 64800 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_4 = \frac{91674,2564 \text{ cm}^4}{64800 \text{ cm}^4}$$

$$\alpha_4 = 1,41473$$

Dari perhitungan di atas didapatkan,

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

$$\alpha_m = \frac{3,712 + 3,275 + 3,275 + 1,415}{4}$$

$$= 3,6694$$

Berdasarkan **SNI 2847-2013 Pasal 9.5.3.3(c)** Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari persamaan berikut

$$h = \frac{\ln \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \text{ dan tidak boleh kurang dari } 90 \text{ mm}$$

sehingga,

$$h = \frac{4675 \times (0,8 + \frac{400}{1400})}{36 + (9 \times 1,28966)} > 90 \text{ mm}$$

$$h = 106,617 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

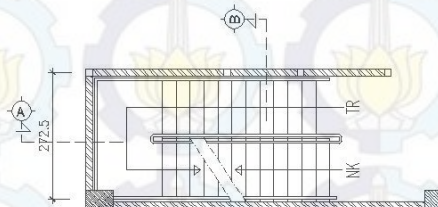
maka dimensi pelat lantai yang digunakan adalah 120 mm



#### 4.1.5 Perencanaan Dimensi Tangga

Dalam perencanaan dimensi tangga terdapat data-data perencanaan, gambar denah perencanaan dan perhitungan perencanaan dalam perencanaan struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya adalah sebagai berikut :

1. Data – data Perencanaan :
  - a. Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
  - b. Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 Mpa
  - c. Tebal Pelat : 15 cm
  - d. Lebar Injakan (i) : 30 cm
  - e. Tinggi Tanjakan (t) : 17 cm
  - f. Tinggi tangga : 500 cm
  - g. Tinggi bordes : 250 cm
  - h. Panjang datar tangga : 800 cm
  - i. Lebar Tangga : 150 cm
  - j. Lebar Bordes : 200 cm
  - k. Panjang Bordes : 300 cm
2. Gambar Denah Perencanaan



Gambar 4. 21 Rencana Denah Tangga

3. Perhitungan Perencanaan

Persyaratan

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar Injakan} + 2 \times \text{Tinggi Tanjakan} &< 65 \\
 30 + 2 \times 17 &< 65 \\
 64 &< 65 \\
 &(\text{Memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned} n_t &= \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{tinggi tanjakan}} \\ &= \frac{250}{17} \\ &= 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jumlah injakan

$$\begin{aligned} n_i &= n_t - 1 \\ &= 15 - 1 \\ &= 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

Sudut kemiringan

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \frac{t}{i} \\ \alpha &= \arctan \frac{17}{30} \\ \alpha &= 29,53^\circ \end{aligned}$$

syarat sudut kemiringan

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 29,53^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{memenuhi})$$

Tebal efektif rata-rata anak tangga

Dengan perbandingan luas pada segitiga:

$$\begin{aligned} L\Delta_1 &= L\Delta_2 \\ \frac{1}{2} \times i \times t &= \frac{1}{2} \times (\sqrt{i^2 + t^2}) \times d \\ \frac{1}{2} \times 30 \times 17 &= \frac{1}{2} \times (\sqrt{30^2 + 17^2}) \times d \\ 255 &= 17,24 \times d \\ d &= 14,79 \\ \frac{1}{2} \times d &= 7,39 \text{ cm} \end{aligned}$$

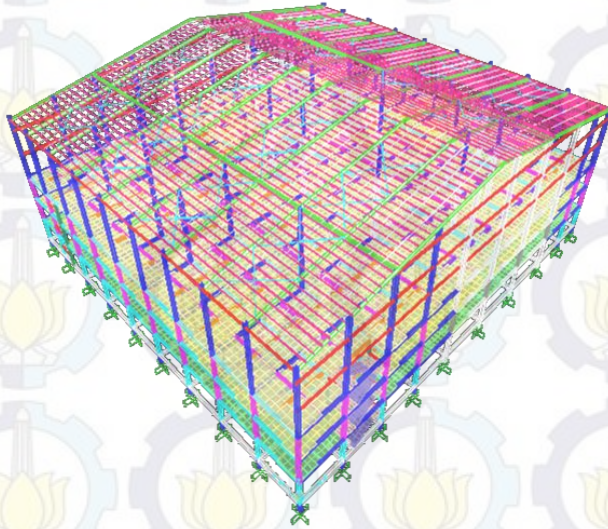
Sehingga didapatkan tebal plat tangga 15 cm + 7,39 cm  
= 22,39 cm

## 4.2 Analisis Struktur

Dalam analisa struktur pada perencanaan struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya menggunakan program bantu SAP 2000 versi 18.



Pada program SAP2000 diasumsikan menggunakan perletakan jepit pada dasar perletakan pemodelan struktur gedung. Dan untuk perencanaan terhadap gempa akan digunakan analisa pembebanan gempa beban statik ekuivalen.



*Gambar 4. 22 Struktur 3D*

- Permodelan komponen struktur tangga  
 Pemodelan struktur tangga dalam proyek akhir ini menggunakan bantuan program analisa SAP2000 dimana komponen struktur tangga ini dimasukkan dalam pemodelan struktur utama. Adapun data-data pemodelan sebagai berikut:
  - a. Perletakan : jepit-sendi-jepit
  - b. Beban : dead load (DL) dan live load (LL)
  - c. Kombinasi :  $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
  - d. Distribusi : uniform shell load untuk semua beban DL dan LL, besarnya sesuai dengan pembebanan tangga.

### 4.3 Perhitungan Struktur

#### 4.2.1 Pembebanan Struktur

##### 4.2.1.1 Pembebanan Pelat

##### 1. Pembebanan Lantai Dasar

###### a. Beban Hidup

Tidak ada beban hidup yang dibebankan pada Lantai Dasar

###### b. Beban Mati

Tidak ada beban mati pada sloof karena sloof berada di pondasi.

##### 2. Pembebanan Lantai 1

###### a. Beban Hidup

Fungsi lantai sebagai mall jadi beban hidup sebesar 479 kg/m<sup>2</sup>. (**Tabel 4-1 SNI-1727-2013**)

###### b. Beban Mati

Berat sendiri pelat ( $2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.12 \text{ m}$ ) : 288 kg/m<sup>2</sup>

Granit 9,5 mm + Spesi 25 mm ( **ASCE** ) : 59,29 kg/m<sup>2</sup>

Plafond Kalsibord 4.3 + Penggantung : 11,3 kg/m<sup>2</sup>

( **Brosur Terlampir** )

Mekanikal Elektrikal ( **PPIUG 1983** ) : 40 kg/m<sup>2</sup>

Plumbing ( **PPIUG 1983** ) : 25 kg/m<sup>2</sup>

Dinding ( $82,666 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ m}$ ) : 413,33 kg/m<sup>2</sup>

Total Beban = ( 288+59,29+11,3+40+25+413,33 ) kg/m<sup>2</sup>  
= 837,33 kg/m<sup>2</sup>

##### 3. Pembebanan Lantai 2

###### a. Beban Hidup

Fungsi lantai sebagai mall jadi beban hidup sebesar 479 kg/m<sup>2</sup>. (**Tabel 4-1 SNI-1727-2013**)

###### b. Beban Mati

Berat sendiri pelat ( $2400 \text{ kg/m}^3 \times 0.12 \text{ m}$ ) : 288 kg/m<sup>2</sup>

Granit 9,5 mm + Spesi 25 mm ( **ASCE** ) : 59,29 kg/m<sup>2</sup>

Plafond Kalsibord 4.3 + Penggantung : 11,3 kg/m<sup>2</sup>



( ***Brosur Terlampir*** )

Mekanikal Elektrikal ( ***PPIUG 1983*** ) : 40 kg/m<sup>2</sup>  
 Plumbing ( ***PPIUG 1983*** ) : 25 kg/m<sup>2</sup>  
 Dinding (82,666 kg/m<sup>3</sup> x 5 m) : 413,33 kg/m<sup>2</sup>  
 Total Beban = ( 288+59,29+11,3+40+25+413,33 ) kg/m<sup>2</sup>  
 = 837,33 kg/m<sup>2</sup>

4. Pembebanan Lantai 3

a. Beban Hidup

Fungsi lantai sebagai ruang bermain jadi beban hidup diasumsikan sebesar 479 kg/m<sup>2</sup>.

b. Beban Mati

Berat sendiri pelat (2400 kg/m<sup>3</sup> x 0.12 m) : 288 kg/m<sup>2</sup>  
 Granit 9,5 mm + Spesi 25 mm ( ***ASCE*** ) : 59,29 kg/m<sup>2</sup>  
 Mekanikal Elektrikal ( ***PPIUG 1983*** ) : 40 kg/m<sup>2</sup>  
 Plumbing ( ***PPIUG 1983*** ) : 25 kg/m<sup>2</sup>  
 Dinding (82,666 kg/m<sup>3</sup> x 12 m) : 991,992 kg/m<sup>2</sup>  
 Total Beban = ( 288+59,29+40+25+991,992 ) kg/m<sup>2</sup>  
 = 1403,992 kg/m<sup>2</sup>

4.2.1.2 Pembebanan Dinding

Tinggi Dinding : 5 m (lt.0-2), 12 m (lt.3)

Bata Ringan Leicht Bric (550 kg/m<sup>3</sup> x 0.15 m): 82,5 kg/m<sup>2</sup>

( ***Brosur Terlampir*** )

Plester D200 ( 20 kg/m<sup>2</sup>/100 mm x 8 mm ) : 16 kg/m<sup>2</sup>

( ***Brosur Terlampir*** )

Acian NP S540 ( 3 kg/m<sup>2</sup>/2 mm x 2 mm ) : 0,6 kg/m<sup>2</sup>

( ***Brosur Terlampir*** )

Total Beban = ( 82,5+16+0,6 ) kg/m<sup>2</sup> x Tinggi Dinding  
 = 99,1 kg/m<sup>2</sup> x 5 m  
 = 495,5 kg/m untuk lantai dasar, 1 dan 2  
 = 1189,2 kg/m untuk lantai 3

#### 4.2.1.3 Pembebanan Tangga

##### 1. Tangga

a. Beban Hidup (**Tabel 4-1 SNI-1727-2013**) : 479 kg/m<sup>2</sup>

##### b. Beban Mati

Berat sendiri plat ( 0.15 m x 2400 kg/m<sup>3</sup> ) : 360 kg/m<sup>2</sup> Berat sendiri anak tangga (0,08 x 2400 kg/m<sup>3</sup>) : 192 kg/m<sup>2</sup>

*Hand Railing ( Asumsi )* : 10 kg/m<sup>2</sup>

Keramik 10 mm + Spesi 25 mm : 68,5 kg/m<sup>2</sup>

Total Beban = ( 360+192+10+68,5 ) kg/m<sup>2</sup>  
= 630,5 kg/m<sup>2</sup>

##### 2. Bordes

a. Beban Hidup (**Tabel 4-1 SNI-1727-2013**) : 479 kg/m<sup>2</sup>

##### b. Beban Mati

Berat sendiri plat ( 0.15 m x 2400 kg/m<sup>3</sup> ) : 360 kg/m<sup>2</sup>

Keramik 10 mm + Spesi 25 mm : 68,5 kg/m<sup>2</sup>

Total Beban = ( 360+68,5 ) kg/m<sup>2</sup>  
= 428,5 kg/m<sup>2</sup>

#### 4.2.1.4 Pembebanan Eskalator dan Travelator

Untuk mengkalkulasikan berat digunakan data – data yang telah ditentukan sebelumnya, dapat dimulai untuk mengkalkulasikan total jarak yang telah ditempuh tangga dan jumlah step yang dibutuhkan.

##### a. Total jarak yang ditempuh (S)

$$S = \left( I + \frac{C}{2} + \frac{D}{2} + \frac{D_s}{2} \right) \times 2$$

Rumus diatas diambil berdasarkan jarak tempuh rantai, dimana :

*I* = Panjang lintasan =  $H/\sin 30^\circ = 5\text{m}/0,5 = 10 \text{ m}$

*C* = Panjang lintasan bagian bawah = 2,19 m

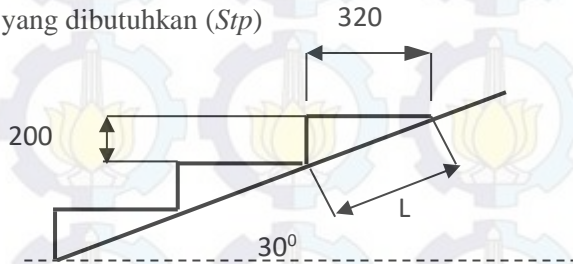
*D* = Panjang lintasan bagian atas = 2,56 m



$$D_s = \text{Keliling diameter sproket} \\ = 2\pi R = 2 \times 3,14 \times 0,617 = 3,874 \text{ m}$$

$$S = \left( 10 + \frac{2,19}{2} + \frac{2,56}{2} + \frac{3,874}{2} \right) \times 2 = 28,625 \text{ m}$$

b. Jumlah step yang dibutuhkan (*Stp*)



Gambar 4. 23 Jarak Pergeseran Step

Berdasarkan gambar diatas, maka jumlah step yang dibutuhkan berdasarkan segitiga pythagoras dan perbandingan jarak adalah :

$$Stp = \frac{S}{L} = \frac{28,625}{0,380} = 75 \text{ buah}$$

Dimana :

*Stp* = Jumlah step (buah)

*S* = Total jarak yang ditempuh (m)

*L* = Panjang diagonal step (m)

$$= \sqrt{320^2 + 200^2} = 380 \text{ mm}$$

Pada kenyataannya ada 56 step, sehingga ada kesalahan perhitungan dari total jarak tempuh rantai. Untuk selanjutnya perhitungan didasarkan pada jumlah 56 step.

c. Berat total step (*Wtotal*)

Untuk masing – masing step diasumsikan mempunyai berat *Wst*. Maka berat total step adalah :

$$W_{total} = S_{tp} \times W_{st} = 56 \times 25 \text{ kg} = 1400 \text{ kg}$$

Dimana :

$W_{total}$  = Berat total step (kg)

$S_{tp}$  = Jumlah step = 56 buah

$W_{st}$  = Berat masing-masing step = 25 kg (asumsi)

d. Berat Penumpang ( $W_p$ )

Untuk satu kali lintasan, jumlah step 23. Kapasitas penumpang 60 orang :

- untuk setiap step 2 orang dewasa ( @ 75 kg ) maka jumlah step  $\times 2 = 23 \times 2 = 46$  orang

$$W_{p2} = 46 \times 75 = 3450 \text{ kg}$$

- Sisa dari kapasitas adalah jumlah anak-anak  $60 - 46 = 14$  orang

Jadi ada 14 orang anak ( @ 20 kg )

$$W_{p1} = 14 \times 20 = 280 \text{ kg}$$

Maka berat total penumpang  $W_p$

$$W_p = W_{p1} + W_{p2} = 280 \text{ kg} + 3450 \text{ kg} = 3730 \text{ kg}$$

e. Berat Handrail ( $W_H$ )

Data untuk hand rail ini tidak ada, sehingga penulis mengasumsikan berat keseluruhan 1 (satu) unit adalah  $W_H = 180 \text{ kg}$ .

f. Untuk berat total rantai ( $W_c$ ) adalah :

OCM Chain No	Pitch	Average Weight Kg/m	Average Tensile Strength Lb/kg	Roller		Width Between Roller Link Plates	Width Between Pin Link Plates	Bushing Dia
				Dia	Face Width			
	P	Kg/m	Lb/kg	R	B	W	X	B
HC 060030	3.00 76.2	1.9 2.9						
HC 060040	4.00 101.5	1.74 2.6	6,000 2,700	1.25 31.8	0.55 14.0	0.60 15.2	1.02 26.0	0.71 18.03
HC 060060	6.00 152.4	1.54 2.3						
HC 120030	3.00 76.2	4.63 6.9						
HC 120040	4.00 101.6	3.96 5.9	12,80 5,480	1.87 47.6	0.70 17.8	0.75 19.1	1.29 32.8	0.93 23.6
HC 120060	6.11 152.4	3.22 4.8						
HC 240040	4.00 101.6	8.86 13.2	24,000 11,000	2.63 66.7	0.95 24.1	1.00 25.4	1.70 43.2	0.27 32.2
HC 240060	6.00 152.4	7.85 10.5						

Gambar 4. 24 Tabel ukuran-ukuran rantai



Dari tabel maka didapat data-data sebagai berikut

1. Pitch  $P = 101,6 \text{ mm}$
2. Berat rata-rata  $5,9 \text{ kg/m}$
3. Kekuatan tarik rata-rata  $= 5400$
4. Roller ; diameter  $= 47,6 \text{ mm}$  ; tebal  $= 17,8 \text{ mm}$
5. Lebar antara roller link dengan plat  $W = 19,1 \text{ mm}$
6. Lebar antara pin link dengan plat  $X = 32,8 \text{ mm}$
7. Bushing  $B = 23,6 \text{ mm}$

Untuk berat total rantai adalah :

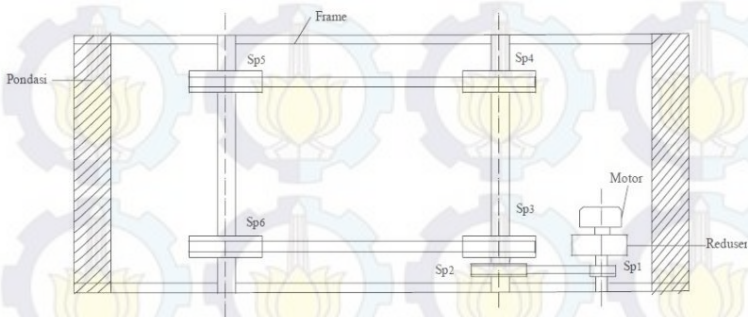
$$\begin{aligned} W_c &= \text{Jarak tempuh rantai (m)} \times \text{Berat rantai (kg/m)} \\ &= 28,625 \text{ m} \times 5,9 \text{ kg/m} = 168,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

- g. Berat sproket ( $W_{sp \text{ total}}$ )

Di dalam mekanisme eskalator ini dibedakan macam sproket menurut fungsinya :

1. Sproket ( $Sp_1$ ) yang berada pada *reducer* dan berfungsi sebagai penggerak.
2. Sproket ( $Sp_2$ ) adalah sproket yang digerakkan sproket ( $Sp_1$ ).
3. Sproket ( $Sp_3$ ) dan ( $Sp_4$ ) sebagai penggerak rantai dan step, begitu pula dengan sproket yang digerakkan oleh  $Sp_3$  dan  $Sp_4$  yaitu  $Sp_5$  dan  $Sp_6$

Semua keterangan mengenai sproket diatas dapat dilihat mekanismenya pada gambar 4.2.1.4.3



Gambar 4. 25 Mekanisme Sistem Penggerak

Pada sproket - sproket diatas,  $Sp_1$  tidak perlu dihitung beratnya karena tidak ditumpu oleh frame maupun menambah beban bagi motor (sangat kecil sehingga dapat diabaikan). Selanjutnya dalam perhitungan berat sproket diameter yang dipakai adalah diameter kepala. Diameter sproket dapat dilihat pembahasannya pada perhitungan mekanisme penggerak. Diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis bahan } (\delta) &= 7833 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Tebal sproket} &= 16 \text{ mm} = 0,016 \text{ m} \\ \text{Diameter sproket } D_{sp2} &= 0,597 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Rumus berat sproket (massa) } W_{sp2} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times t \times BJ$$

$$1. \text{ Berat sproket } Sp2 = W_{sp2}$$

$$W_{sp2} = 3,14/4 \times (0,597)^2 \times 0,016 \times 7833$$

$$W_{sp2} = 35,1 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Untuk diameter kepala dari sproket penggerak step}$$

$$Sp3 = Sp4 = Sp5 = Sp6 = 670 \text{ mm} = 0,67 \text{ m}$$

$$\text{Tebal sproket } t = 17 \text{ mm} = 0,017 \text{ m}$$

$$W_{sp} = 4 \times \left( \frac{\pi}{4} D^2 \cdot t \cdot \delta \right)$$

$$W_{sp} = 4 \times \left( \frac{3,14}{4} (0,67)^2 \times 0,017 \times 7833 \right)$$

$$W_{sp} = 187,7 \text{ kg}$$

Sehingga berat total sproket sebesar

$$W_{sp \text{ total}} = W_{sp2} + W_{sp} = 35,1 \text{ kg} + 187,7 \text{ kg} = 222,8 \text{ kg}$$

Maka berat total dari seluruh sistem adalah :

$$1. \text{ Berat step } W_{st} = 1400 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Berat penumpang } W_p = 3730 \text{ kg}$$

$$3. \text{ Berat handrail } W_H = 180 \text{ kg/unit}$$

$$4. \text{ Berat rantai } W_c = 168,88 \text{ kg/m}$$

$$5. \text{ Berat sproket} = 222,8 \text{ kg}$$

$$\text{Berat total } (W_{total}) = 5702 \text{ kg}$$

Untuk kesalahan perhitungan serta gesekan-gesekan yang menimbulkan kerugian-kerugian, maka :



$$W = (W_{\text{total}} \times 5\%) + W_{\text{total}}$$

$$= (5702 \times 5\%) + 5702 = 5986,77 \text{ kg}$$

Untuk berat Travelator diasumsikan sama dengan berat Eskalator, karena Travelator tidak memiliki anak tangga namun bentang yang lebih panjang akibat faktor kelandaian.

#### 4.2.1.5 Pembebanan Angin

Dalam perhitungan pembebanan angin menggunakan SNI 1727:2013 tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Dalam peraturan tersebut beban angin di desain untuk bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) harus ditentukan dengan menggunakan salah satu dari empat prosedur yaitu prosedur pengarah untuk bangunan gedung seluruh ketinggian, prosedur amlop untuk bangunan gedung bertingkat rendah, prosedur pengarah untuk perlengkapan bangunan gedung, dan prosedur terowongan angin.

Berikut perhitungan pembebanan angin struktur Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya :

##### 1. Data Perencanaan

Fungsi bangunan	: Mall
Tinggi bangunan	: 35 m
Panjang bangunan	: 76 m
Lebar bangunan	: 70,5 m
Tinggi per lantai	: 5 m dan 20 m

##### 2. Kategori bangunan gedung

- Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2  
Termasuk bangunan gedung tertutup karena bangunan gedung tidak memenuhi persyaratan untuk bangunan gedung terbuka dan bangunan gedung tertutup sebagian.
- Sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.2 dan 26.9.2  
Termasuk bangunan kaku karena memenuhi persyaratan sebagai berikut :

#### Penentuan Frekuensi

$$\begin{aligned} \text{- Tinggi bangunan} &\leq 91 \text{ m} \\ 35 \text{ m} &\leq 91 \text{ m (OK)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Tinggi bangunan} &\leq 4 \times L_{\text{eff}} \\ L_{\text{eff}} &= \frac{\sum h_i L_i}{\sum h_i} = \frac{2660 \text{ m}^2}{35 \text{ m}} = 76 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } 35 \text{ m} &\leq 4 \times 76 \text{ m} \\ 35 \text{ m} &\leq 304 \text{ m (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung sesuai dengan pasal 26.9.3 frekuensi alami perkiraan. Untuk beton bangunan rangka penahan momen

$$n_a = \frac{43,5}{h^{0,9}} = \frac{43,5}{35^{0,9}} = 1,77 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } n_a &\geq 1 \text{ Hz} \\ 1,77 \text{ Hz} &\geq 1 \text{ Hz (OK)} \end{aligned}$$

Dari uraian diatas maka pembebanan angin pada bangunan gedung SPBAU menggunakan prosedur pengarah (lihat SNI 1727:2013 pasal 27).

3. Langkah-langkah untuk menentukan beban angin SPBAU untuk bangunan gedung tertutup dengan prosedur pengarah (SNI 1727:2013 tabel 27.2-1)
  - a. Menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain (SNI 1727:2013 tabel 1.5-1)



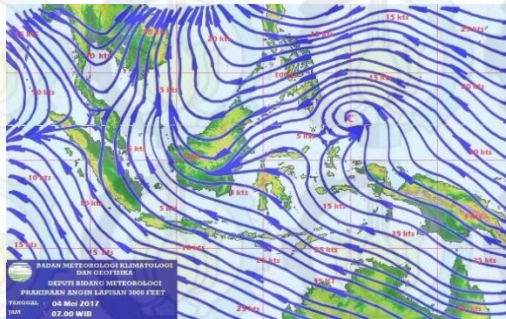
Tabel 1.5-1 - Kategori Risiko Bangunan dan Struktur lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es	
Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.	III
Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.	
Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.	
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.	IV
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.	
Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis <sup>a</sup> .	
Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.	

*Gambar 4. 26 Kategori Risiko Bangunan*

Maka bangunan gedung termasuk dalam kategori resiko III

- b. Menentukan kecepatan angin dasar ( V )  
 Sesuai dengan prakiraan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (13 Maret 2017)

$V = 28 \text{ km/jam} = 7,78 \text{ m/s}$  arah angin = barat laut



Gambar 4. 27 Prakiran Cuaca Provinsi Jawa Timur  
(sumber : meteo.bmkg.go.id)

- c. Menentukan Faktor arah angin  
Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.6-1  
 $K_d = 0,85$

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin $K_d^a$
Bangunan Gedung	0,85
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	
Atap Lengkung	0,85
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame	
pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

Gambar 4. 28 Faktor Arah Angin,  $K_d$

- d. Kategori Eksposur sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.7  
Maka termasuk dalam eksposur B
- e. Faktor topografi sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 26.8.2  
 $K_{zt} = 1$
- f. Faktor efek tiupan angin sesuai SNI 1727:2013 pasal 26.9.1  
Faktor efek tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku diambil  $G = 0,85$
- g. Koefisien tekanan internal



Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.11-1

Klasifikasi Ketertutupan	(GC <sub>pi</sub> )
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

Gambar 4. 29 Tabel GC<sub>pi</sub>

Maka, GC<sub>pi</sub> = + 0,18 ; - 0,18

h. Koefisien eksposur tekanan velositas

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 27.3-1

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4,6)	0,57	0,85	1,03
20	(6,1)	0,62	0,90	1,08
25	(7,6)	0,66	0,94	1,12
30	(9,1)	0,70	0,98	1,16
40	(12,2)	0,76	1,04	1,22
50	(15,2)	0,81	1,09	1,27
60	(18)	0,85	1,13	1,31
70	(21,3)	0,89	1,17	1,34
80	(24,4)	0,93	1,21	1,38
90	(27,4)	0,96	1,24	1,40
100	(30,5)	0,99	1,26	1,43
120	(36,6)	1,04	1,31	1,48
140	(42,7)	1,09	1,36	1,52
160	(48,8)	1,13	1,39	1,55
180	(54,9)	1,17	1,43	1,58
200	(61,0)	1,20	1,46	1,61
250	(76,2)	1,28	1,53	1,68
300	(91,4)	1,35	1,59	1,73
350	(106,7)	1,41	1,64	1,78
400	(121,9)	1,47	1,69	1,82
450	(137,2)	1,52	1,73	1,86
500	(152,4)	1,56	1,77	1,89

Gambar 4. 30 Tabel Koefisien Eksposur Tekanan Velositas

Tinggi bangunan (z) = 35 m

Interpolasi nilai Kh :

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$\frac{35 - 30,5}{36,6 - 30,5} = \frac{y - 0,99}{1,04 - 0,99}$$

$$\frac{4,5}{6,1} = \frac{y - 0,99}{0,05}$$

$$y = 1,027$$

Sesuai dengan SNI 1727:2013 tabel 26.9.1

Dalam metrik									
Eksposur	$\alpha$	$Z_g$ (ft)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	$c$	$f$ (ft)	$Z_{min}$ (m)*
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,4	1/5,0
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0

Gambar 4. 31 Tabel 26.9.1 SNI 1727:2013

Eksposur B  $\rightarrow \alpha = 7 ; z_g = 365,76 \text{ m}$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$K_z = 2,01 \left( \frac{35}{367,76} \right)^{\frac{2}{7}}$$

$$K_z = 1,028$$

i. Menentukan tekanan velositas

Sesuai dengan SNI 1727:2013 pasal 27.3.2

$$q_z = 0,613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_z = 0,613 \times 1,028 \times 1 \times 0,85 \times 7,78^2$$

$$q_z = 3,24 \text{ kg/m}^2$$

$$q_h = 0,613 \times K_h \times K_{zt} \times K_d \times V^2$$

$$q_h = 0,613 \times 1,027 \times 1 \times 0,85 \times 7,78^2$$

$$q_h = 3,24 \text{ kg/m}^2$$



- j. Menentukan koefisien tekanan eksternal sesuai dengan SNI 1727:2013 gambar 27.4-1 untuk dinding dan atap.

Koefisien tekanan dinding, $C_p$			
Permukaan	$L/B$	$C_p$	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	0,8	$q_z$
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	- 0,5	$q_h$
	2	- 0,3	
	$\geq 4$	- 0,2	
Dinding tepi	Seluruh nilai	- 0,7	$q_h$

Gambar 4. 32 Tabel 27.4.1 SNI 1727:2013

- Dinding di sisi angin datang ( $q_z$ )  
 $C_p = 0,8$
  - Dinding di sisi angin pergi ( $q_h$ )  
 $\frac{L}{B} = \frac{76 \text{ m}}{70,5 \text{ m}} = 1,08$   
 $C_p = - 0,5$
  - Dinding tepi ( $q_h$ )  
 $C_p = - 0,7$
- k. Tekanan angin pada setiap permukaan bangunan gedung kaku sesuai dengan SNI 1727:2013 persamaan 27.4-1
- Dinding di sisi angin datang  
 $p = q \cdot G \cdot C_{pi} \cdot q_i \cdot (GC_{pi})$   
 $p = 3,24 \times 0,85 \times 0,8 - 0 \cdot (+0,18)$   
 $p = 2,20 \text{ kg/m}^2$
  - Dinding di sisi angin pergi  
 $p = q \cdot G \cdot C_{pi} \cdot q_i \cdot (GC_{pi})$   
 $p = 3,24 \times 0,85 \times (-0,5) - 0 \cdot (+0,18)$   
 $p = -1,38 \text{ kg/m}^2$
  - Dinding tepi  
 $p = q \cdot G \cdot C_{pi} \cdot q_i \cdot (GC_{pi})$   
 $p = 3,24 \times 0,85 \times (-0,7) - 0 \cdot (+0,18)$   
 $p = -1,93 \text{ kg/m}^2$
- l. Input beban angin di SAP 2000. Beban angin di inputkan ke dalam kolom sebagai beban merata pada tiap-tiap kolom arah x dan y.

Tabel 4. 1 Beban Angin pada SAP arah x dan y

joint 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 (8m)	tepi	tengah
datang		17,62811776
tepi	-7,704	
pergi		-11,01
joint A,B,C,D,I,J (8m)	tepi	tengah
datang		17,63
tepi	-7,704	
pergi		-11,01
joint E,F,G,H (10m)	tepi	tengah
datang		22,04
tepi	-9,629	
pergi		-13,76

#### 4.2.1.6 Pembebanan Gempa

Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya ini direncanakan sebagai bangunan bertingkat. Jumlah tingkat gedung ialah 3 tingkat dengan rangka atap baja. Pada perhitungan beban gempa struktur menggunakan analisis perhitungan statik ekuivalen. Berikut langkah-langkah perhitungan :

##### 1. Klasifikasi Situs

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\bar{N} = \frac{100}{4,634}$$

$$\bar{N} = 21,576$$

Sesuai **SNI 1726:2012 Tabel 3**, karena nilai  $\bar{N} = 21,576$  maka termasuk dalam tanah sedang (SD) karena  $15 < \bar{N} < 50$ . (Perhitungan dalam bentuk tabel terlampir)

##### 2. Faktor Percepatan Batuan Dasar ( $S_s$ , $S_1$ )

Direncanakan bangunan berumur 10% dalam 50 tahun (Gempa 500 tahun). Dari lokasi bangunan:  $S_s = 0,3 g$  (**Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, Gambar 2**)

$$S_1 = 0,1 g$$

(**Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, Gambar 3**)



3. Faktor Koefisien Situs ( $F_a$ ,  $F_v$ ) dan Parameter respon ( $S_{ms}$ ,  $S_{ds}$ ,  $S_{m1}$ , dan  $S_{d1}$ )

$S_s = 0,3 g$  berada diantara  $S_s < 0,25$  dengan  $S_s = 0,5$  maka dilakukan interpolasi linier.

Tabel 4. 2  $F_a$  SNI 1726-2012

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan $MCE_R$ pada periode pendek. $T = 0.2$ detik				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
SA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
SB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SC	1.20	1.20	1.10	1.00	1.00
SD	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00
SE	2.50	1.70	1.20	0.90	0.90
SF	Memerlukan investigasi spesifik dan analisis situs spesifik				

$S_s$  : 0,3 (Peta Hazard periode gempa 500 tahun)

$F_a$  : 1,56 (Interpolasi)

$S_{MS}$  :  $F_a \times S_s = 1,56 \times 0,3 = 0,468$

Tabel 4. 3  $F_v$  SNI 1726-2012

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa terpetakan $MCE_R$ pada periode. $T = 1$ detik				
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 \geq 0.50$
SA	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
SB	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SC	1.70	1.60	1.50	1.40	1.30
SD	2.40	2.00	1.80	1.60	1.50
SE	3.50	3.20	2.80	2.40	2.40
SF	Memerlukan investigasi spesifik dan analisis situs spesifik				

$S_1$  : 0,1 (Peta Hazard periode gempa 500 tahun)

$F_v$  : 2,4

$S_{M1}$  :  $F_v \times S_1 = 0,1 \times 2,4 = 0,24$

4. Parameter percepatan spektral desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (SNI 1726:2012 Pasal 6.3)$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,468$$

$$S_{DS} = 0,312 \quad (KDS C)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (SNI 1726:2012 \text{ Pasal 6.3})$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,24$$

$$S_{D1} = 0,16 \quad (KDS C)$$

## 5. Tinggi Bangunan

$$H_o = 4 \text{ m}$$

$$H_3 = 8,5 \text{ m}$$

$$H_1 = 5 \text{ m}$$

$$H_4 = 16 \text{ m}$$

$$H_2 = 5 \text{ m}$$

## 6. Berat Struktur Bangunan

*Tabel 4. 4 Perhitungan Beban Per Lantai Periode 500 tahun*

Perhitungan Gaya Gempa per Lantai Periode 500 tahun (SNI 1726-2012)										
	Beban	Komponen	dimensi		BJ (kg/m3)	panjang (m)	Jumlah (buah)	tebal (m)	tinggi (m)	berat (kg)
			b (m)	h (m)						
W0	Mati	Kolom 60/60	0,6	0,6	2400		40		4	138240
		Kolom 50/50	0,5	0,5	2400		60		4	144000
		Kolom Praktis 30 / 30	0,3	0,3	2400		4		2,5	2160
		Sloof 45/65	0,45	0,65	2400	76	10			533520
		Sloof 45/65	0,45	0,65	2400	70,5	10			511758
		2 x Plat Bordes 1	3	2	2400			0,15		4320
		2 x Plat Tangga 1	1,5	4,35	2400			0,23		7203,6
		Dinding			99,1	293			2,5	72590,75
		Travelator								5987
	Berat Beban Mati									1419779
	Hidup	2 x Plat Tangga 1	1,5	4,35	479		koeffisien =>	0,3		1875,285
		2 x Plat Bordes 1	3	2	479		koeffisien =>	0,3		1724,4
	Berat Beban Hidup									3599,685
Berat Total W0									1423379	





	Beban	Komponen	dimensi		BJ (kg/m <sup>3</sup> )	panjang (m)	Jumlah (buah)	tebal (m)	tinggi (m)	berat (kg)	
			b (m)	h (m)							
W3	Mati	Berat sendiri plat	70,5	76	2400				0,12		1501632
		Granit (t =0,95 cm) berikut spesi (t =2,5 cm)	70,5	76	59,2925						309151,1
		Plafond berikut penggantungnya = 4,3 + 7	70,5	76	11,3						58918,2
		Pemipaan air bersih dan kotor	70,5	76	25						130350
		Instalasi listrik	70,5	76	40						208560
		Kolom 60/60	0,6	0,6	2400			40		8,5	200448
		Kolom 50/50	0,5	0,5	2400			60		8,5	230400
		Kolom Praktis 30/30	0,3	0,3	2400			4		2,5	2160
		Balok induk (B1) 40/60	0,4	0,6	2400	10		30			172800
		Balok induk (B2) 35/50	0,35	0,5	2400	8	57,5				193200
		Balok induk (B3) 35/50	0,35	0,5	2400	8	87,125				292740
		Balok Eskalator (BM1)	0,5	0,7	2400	8	1				6720
		Balok anak (BA1) 35/50	0,35	0,5	2400	10	25,8				108360
		Balok anak (BA2) 30/40	0,3	0,4	2400	8	57,5				132480
		Balok anak (BA3) 30/40	0,3	0,4	2400	8	77,5625				178704
		Balok Ring (BR1) 20 / 30	0,2	0,3	2400	10	22,85				32904
Dinding			99,1	293			8,5		246808,6		
2 x Plat Tangga 6	1,5	4,74	2400				0,23		7849,44		
2 x Plat bordes 6	3	2	2400				0,15		4320		
Travelator dan Eskalator									5987		
Berat Beban Mati											4024492
Hidup	Plat Lantai 3	70,5	76	600			koefisien =>	0,3		922968	
	2 x Plat Tangga 6	1,5	4,74	479			koefisien =>	0,3		2043,414	
	2 x Plat bordes 6	3	2	479			koefisien =>	0,3		1724,4	
Berat Beban Hidup											926735,8
Berat Total W3											4951228

	Beban	Komponen	dimensi		BJ (kg/m3)	panjang (m)	Jumlah (buah)	tebal (m)	tinggi (m)	berat (kg)	
			b (m)	h (m)							
W4	Mati	Instalasi listrik	70,5	76	40					214320	
		Kolom WF 350.350.12.19								20191,49	
		Kolom Pedestal 60/60	0,6	0,6	2400			22	6	114048	
		Kolom Pedestal 50/50	0,5	0,5	2400			40	6	144000	
		Ikatan Angin Atap D19								3325,2	
		P.Gording D14								12988,15	
		Gording LLC 150.65.20.3.2								32751,66	
		Kuda2 WF 500.200.10.16								93224,47	
		Balok Ring (BR1) 20 / 30	0,2	0,3	2400	10	31,45			45288	
		Penutup atap uPVC	0,77	2	5,45		3422	0,01		287,2085	
	Berat Beban Mati									680424,2	
Hidup	Atap uPVC	70,5	74,74	20			koefisien =>	0,8	84306,72		
	Dinding		2432		28		koefisien =>	0,8	54476,8		
		Berat Beban Hidup									138783,5
		Berat Total W4									819207,7
		BERAT TOTAL									1,6E+07



7. Menentukan koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

$$S_{DS} = 0,312$$

$$S_{D1} = 0,16 \text{ Sesuai SNI 1726:2012 tabel 14}$$

$S_{D1}$	$C_u$
0,2	1,5
0,16	1,58
0,15	1,6

$$\frac{0,2 - 0,15}{1,5 - 1,6} = \frac{0,16 - 0,15}{x - 1,6}$$

$$\frac{0,05}{-0,1} = \frac{0,01}{x - 1,6}$$

$$x = 1,58$$

Maka  $C_u = 1,58$

8. Mencari perioda fundamental pendekatan

$$T_a = 1,143 \text{ detik}$$

$$\text{Maka } T = T_a = 1,143$$

Nilai T tidak boleh melebihi koefisien  $C_u$

9. Perhitungan koefisien respons seismik

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 1 dan 2 fungsi bangunan sebagai gedung perbelanjaan, maka termasuk dalam kategori resiko II.

$$I_e = 1,0$$

Sesuai SNI 1726:2012 tabel 9 menggunakan Sistem Rangka beton bertulang pemikul momen menengah

$$R = 5$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \text{ (SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 per. 22)}$$

$$C_s = \frac{0,312}{\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$C_s = 0,0624$$

Syarat :

$$C_s \leq \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \text{ (SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 pers. 23)}$$

$$0,0624 \leq \frac{0,16}{1,143\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$0,0624 \leq 0,0279 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Syarat

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,001$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 24)

$$0,044 \cdot 0,312 \cdot 1,0 \geq 0,001$$

$$0,013 \geq 0,001 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka nilai  $C_s$  diambil 0,013

Sesuai **SNI 1726:2012 tabel 9** menggunakan Sistem Rangka baja pemikul momen menengah untuk atap

$$R = 4,5$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 per. 22})$$

$$C_s = \frac{0,312}{\left(\frac{5}{1}\right)}$$

$$C_s = 0,0693$$

Syarat :

$$C_s \leq \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (\text{SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 pers. 23})$$

$$0,0693 \leq \frac{0,16}{1,143\left(\frac{4,5}{1}\right)}$$

$$0,0693 \leq 0,0311 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Syarat

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,001$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1 persamaan 24)

$$0,044 \cdot 0,312 \cdot 1,0 \geq 0,001$$

$$0,013 \geq 0,001 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka nilai  $C_s$  diambil 0,013

#### 10. Geser dasar seismik

$$V = C_s \times W \text{ beton}$$

$$V = 0,01373 \times 15503427 \text{ kg}$$

$$V = 212831 \text{ kg}$$



$$V = C_s \times W \text{ baja}$$

$$V = 0,01373 \times 819207,7 \text{ kg}$$

$$V = 11246,08 \text{ kg}$$

### 11. Gaya Dasar Seismik per Lantai (F)

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (\text{SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 pers. 30})$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum W_i h_i^k}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.3 persamaan 31)

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur

$$T = 1,143 \text{ s}$$

syarat :

- $T \leq 0,5 \text{ s}$  , maka  $k = 1$
- $T \geq 2,5 \text{ s}$  , maka  $k = 2$
- $0,5 \text{ s} < T < 2,5 \text{ s}$  , maka  $k$  ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

T	k
2,5	2
1,143	1,3215
0,5	1

$$\frac{2,5 - 0,5}{2 - 1} = \frac{1,143 - 0,5}{x - 1}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{0,643}{x - 1}$$

$$x = 1,3215$$

Maka nilai  $k = 1,3215$

Lantai ke	W <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (m)	wh <sup>k</sup>	w.h <sup>k</sup> /sigma	V = C <sub>s</sub> .	f <sub>i</sub> (kg)
0	1423378,805	2	3557391,262	0,008779507	212831,045	1868,55
1	4537207,955	5	38060767,84	0,093932535	212831,045	19991,8
2	4591612,28	10	96264289,26	0,237576623	212831,045	50563,7
3	4951227,869	15	177385253,6	0,437780094	212831,045	93173,2
Atap	819207,6985	35	89924896,27	0,221931241	11246,0833	2495,86
total			405192598,2	1	172514,052	168093

Cek Gaya Geser

$$V = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

$$172514,05 \text{ kg} = 168093 \text{ kg} \quad (\text{selisih } 0,97\%)$$

12.

### 13. Beban Gempa Per Kolom

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan Bangunan		eksentrisitas	
	arah x (m)	arah y (m)	arah x (m)	arah y (m)	arah x (m)	arah y (m)
0	8,33986	12,081095	35,85000	38,85185	27,51	26,77
1	23,4356	8,0123535	35,85000	38,85185	12,41	30,84
2	23,4486	8,0115931	35,85000	38,85185	12,40	30,84
3	24,193	30,475992	30,76657	3,40083	6,57	27,08
Atap	24,193	30,475992	30,76657	3,40083	6,57	27,08

ex	ey	Mx (kgm)	My (Kgm)
27,51	26,77	51404,113	50022,54145
12,41	30,84	248185,45	616535,8349
12,40	30,84	627058,32	1559397,001
6,57	27,08	612482,32	2522679,496
6,57	27,08	16406,74	67575,74284
		1555536,9	4816210,616

Perhitungan gaya gempa per kolom dalam bentuk tabel dilampirkan pada halaman 276.

#### 4.2.2 Perhitungan Pelat Lantai

Pelat / slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam design, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai **pelat satu arah (*one way slab*)**, dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya lebih kecil dari 2, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung disekelilingnya, dengan demikian, panel disebut **pelat 2 arah (*two way slab*)**, dengan tulangan utama



dipasang 2 arah yaitu searah sumbu x dan searah sumbu y, sedangkan tulangan susut dan suhu dipasang mengitari pelat tersebut. (*Desain Beton Bertulang, oleh C.K.Wang dan C.G.Salmon Bab 16*).

Pelat direncanakan menerima beban berdasarkan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013) berdasarkan fungsi tiap lantai dan brosur material, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah :

$$U = 1,2 DL + 1,6 LL$$

Dimana :

U = Beban ultimate pelat












DL = Beban mati pelat

LL = Beban hidup pelat

Dari buku C.K. Wang dan C.G. Salmon jilid 2 halaman 135 terdapat persyaratan mengenai perletakan pelat, yaitu:

- $\alpha m \leq 0,375$  = sebagai pelat tanpa balok tepi
- $0,375 \leq \alpha m \leq 1,875$  = sebagai pelat dengan balok tepi yang fleksibel
- $\alpha m > 1,875$  = sebagai pelat tanpa balok tepi yang kaku

Dari perhitungan didapatkan harga  $\alpha m = 3,669$  dan  $\alpha m = 2,638$  pada perencanaan tebal pelat, maka asumsi perletakan pelat lantai dan pelat atap adalah **jepit penuh**. Dimana dalam menganalisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelat menggunakan **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3 Tabel 13.3.(1) halaman 202**.

Tipe Pelat	Momen	ly / lx																			
		1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	>2.5			
I	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	44	52	59	66	73	78	84	88	93	97	100	103	106	108	110	112	123			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	39	47	54	61	68	73	78	82	86	90	93	96	99	101	103	105	83			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	32	39	44	49	53	57	61	64	67	70	73	75	77	79	81	83	85			
II	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	11	11	11	11	10	10	8			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	32	39	44	49	53	57	61	64	67	70	73	75	77	79	81	83	85			
III	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	28	33	38	42	45	48	51	53	55	57	58	59	59	60	61	61	63			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	28	28	28	27	26	25	23	23	22	21	19	18	17	17	16	16	13			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	68	72	74	76	77	77	78	78	78	78	79	79	79	79	79	79	79			
IVa	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	22	28	34	42	49	55	62	68	74	80	85	89	93	97	100	103	123			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	32	38	44	51	58	64	70	76	81	86	90	94	97	100	103	106	123			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	70	79	87	94	100	105	109	112	115	117	119	120	121	122	123	123	123			
IVb	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	32	34	36	38	39	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	22	20	19	17	15	14	13	12	11	10	10	10	9	9	9	9	8			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	70	74	77	79	81	82	83	84	84	84	84	84	83	83	83	83	83			
Va	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	31	38	45	53	60	66	72	78	83	88	92	96	99	102	103	108	123			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	37	39	41	41	42	42	41	41	40	39	38	37	36	35	34	33	29			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	84	92	99	104	109	112	115	117	119	121	122	122	123	123	124	124	125			
Vb	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	37	41	45	48	51	53	55	56	58	59	60	60	60	61	61	62	63			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	31	30	28	27	25	24	22	21	20	19	18	17	17	16	16	13	13			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	84	92	98	103	108	111	114	117	119	120	121	122	122	123	123	124	125			
VIa	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	21	26	31	36	40	43	46	49	51	53	55	56	57	58	59	60	63			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	26	27	28	28	27	26	25	23	22	21	21	20	20	19	19	18	13			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	60	63	65	67	69	70	71	71	70	69	68	67	66	65	64	63	58			
VIB	 $M_x = +0,001 q l_x^2 X$	26	29	32	35	38	39	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42			
	$M_y = +0,001 q l_y^2 X$	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	11	11	10	10	10	10	8			
	$M_z = +0,001 q l_x l_y X$	60	66	71	74	77	79	80	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83			
	$M_x = +0,001 q l_x^2 X$	55	57	57	57	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57			
	Keterangan :																				
			 = Terletak bebas																		
		 = Terjepit penuh																			

Gambar 4. 33 Momen Pelat

Dikarenakan pelat yang direncanakan **terjepit penuh** oleh balok pada keempat sisinya sehingga pada **Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBTI 1971) Pasal 13.3 tabel 13.3(1)** pelat termasuk dalam **tipe II** dimana persamaan gaya dalam momen yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$M_{tx} = +0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{lx} = +0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = +0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = +0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$$

Dimana :

$M_{tx}$  = Momen tumpuan arah x

$M_{lx}$  = Momen lapangan arah x

$M_{ty}$  = Momen tumpuan arah y

$M_{ly}$  = Momen lapangan arah y

X = koefisien (tabel 13.3.1 PBTI 1971)



Pada penulangan pelat lantai akan dibahas 2 contoh penulangan yaitu penulangan pelat lantai tipe A as (E-E'; 2-1') dan tipe B as (E-D'; 2-1').

#### 4.2.2.1 Perhitungan Pelat Lantai Tipe A

Pada perhitungan pelat lantai ditinjau pada salah satu pelat dengan luasan yang terbesar dari tipe pelat lainnya.

Data Perencanaan :



$Lx$	$= 4 \text{ m}$
$Ly$	$= 5 \text{ m}$
$h \text{ pelat}$	$= 12 \text{ cm}$
$b \text{ pelat}$	$= 1000 \text{ mm}$
$f_y$	$= 400 \text{ MPa}$
$\beta$	$= 0,85$
$\Phi$	$= 0,8$
Decking	$= 20 \text{ mm (SNI 03-3847-2013 pasal 7.7)}$

$\beta_1 = 0.85$	.....	bila : $0 < f_c' \leq 30 \text{ MPa}$	} ..... (03-4)
$\beta_1 = 0.85 - 0.008 \times (f_c' - 30)$	.....	bila : $30 < f_c' \leq 55 \text{ MPa}$	
$\beta_1 = 0.65$	.....	bila : $f_c' > 55 \text{ MPa}$	

##### 1. Tipe pelat

$$\frac{Ly}{Lx} < 2 = \frac{5}{4} = 1,25 < 2 \text{ (Two ways slab)}$$

##### 2. Perhitungan beban pada pelat

Beban mati pada pelat :

Berat sendiri pelat ( $t=12\text{cm}$ )	$=$	288	$\text{kg/m}^2$	
Granit 9,5 mm+ spesi 25 mm	$=$	59,3	$\text{kg/m}^2$	Brosur
Plafond + penggantung	$=$	11,3	$\text{kg/m}^2$	Brosur

Mekanikal Elektrikal	=	40	kg/m <sup>2</sup>	PPIUG
Dinding (5m x 99,1 kg/m <sup>2</sup> )	=	495,5	kg/m <sup>2</sup>	Brosur
		<hr/>		
		894,1	kg/m <sup>2</sup>	

Beban hidup pada pelat :

Fungsi gedung sebagai tempat mall = 479 kg/m<sup>2</sup>

Beban ultimate rencana :

$$Q_u = 1,2D + 1,6 L$$

$$= 1,2 \times 894,1 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \times 479 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1839,311 \text{ kg/m}^2$$

3. Momen-momen pada pelat

*Koefisien momen* untuk pelat lantai atap 500 x 400 adalah:

Nilai  $M_{lx}$  = 29,5

Nilai  $M_{ly}$  = 19,5

Nilai  $M_{tx}$  = 66,5

Nilai  $M_{ty}$  = 56,5

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 29,5$$

$$= 868,15 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 19,5$$

$$= 573,87 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 66,5$$

$$= 1957,03 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 56,5$$

$$= 1662,74 \text{ kgm}$$



#### 4. Penulangan Pelat



$$h \text{ pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$h \text{ cover} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{asumsi } \varnothing \text{ tulangan pelat} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{asumsi } \varnothing \text{ sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} D_{\text{tul}} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - \text{decking} - \text{sengkang} - \frac{1}{2} D_{\text{tul}} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left( \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left( \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \right) \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

#### Tulangan Lapangan arah X

$$M_u = M_{lx} = 8681547,92 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{lx}}{\phi} \\ &= \frac{8681547,92 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 10851934,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{10851934,9 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} \\
 &= 1,202
 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,202}{400}} \right) \\
 &= 0,0031
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0031 < 0,024 \quad (\text{Tidak Ok})$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ , maka harus dinaikkan 30% sehingga

$$\rho_{\text{perlu}} = 30\% \times 0,0031 = 0,00092 + 0,024 = 0,0040$$

Karena setelah dinaikkan, nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  lebih besar atau sama dengan  $\rho_{\min}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho_{\text{perlu}}$ .

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0040 \times 1000 \text{ mm} \times 95$$

$$= 292,6 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan = Ø10 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2$$

$$= 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{78500 \text{ mm}^3}{292,6 \text{ mm}^2}$$

$$= 268,28 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}\text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S} \\ &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{200 \text{ mm}} = 392,9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat tulangan :

As pakai > As perlu

$$392,9 \text{ mm}^2 > 292,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

### **Tulangan Tumpuan arah X**

$$M_u = M_{tx} = 19570269,04 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{19570269,04 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 24462836,3 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{24462836,3 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} \\ &= 2,71\end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,71}{400}} \right) \\ &= 0,0072\end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0072 < 0,024 \quad (\text{Ok})$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0072 \times 1000 \text{ mm} \times 95$$

$$= 682,2 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan = Ø10 mm

$$As = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3.14 \times (10 \text{ mm})^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{As \text{ perlu}} = \frac{78500 \text{ mm}^3}{682,2 \text{ mm}^2} = 115,06 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

$$As \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S} = \frac{78500 \text{ mm}^3}{100 \text{ mm}} = 785,7 \text{ mm}^2$$

Syarat tulangan :

$$As \text{ pakai} > As \text{ perlu}$$

$$785,7 \text{ mm}^2 > 682,2 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

### Tulangan Lapangan arah Y

$$Mu = Mly = 5738650,32 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mlx}{\phi} = \frac{5738650,32 \text{ Nmm}}{0,8} = 7173312,9 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{7173312,9 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} = 0,993$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,993}{400}} \right) = 0,0025$$



Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0025 < 0,024 \quad (\text{Tidak Ok})$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ , maka harus dinaikkan 30% sehingga

$$\rho_{\text{perlu}} = 30\% \times 0,0025 = 0,00076 + 0,025 = 0,0033$$

Karena setelah dinaikkan, nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  lebih kecil dari  $\rho_{\min}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho_{\min}$ .

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 85$$

$$= 215,3 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan =  $\varnothing 10 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2$$

$$= 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{78500 \text{ mm}^3}{292,6 \text{ mm}^2}$$

$$= 268,28 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S}$$

$$= \frac{78500 \text{ mm}^3}{200 \text{ mm}}$$

$$= 392,9 \text{ mm}^2$$

Syarat tulangan :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$392,9 \text{ mm}^2 > 215,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

**Tulangan Tumpuan arah Y**

$$M_u = M_{ty} = 16627371,44 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u x}{\phi} \\ &= \frac{16627371,44 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 20784214,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{20784214,3 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} \\ &= 2,88 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,88}{400}} \right) \\ &= 0,0077 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0077 < 0,024 \quad (\text{Ok})$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0077 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \\ &= 650,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \times h \\ &= 2 \times 120 \text{ mm} \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan = Ø10 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{650,3 \text{ mm}^2} \\ &= 120,71 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S} \\ &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{100 \text{ mm}} \\ &= 785,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat tulangan :

$$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$785,7 \text{ mm}^2 > 650,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

### Tulangan Susut

Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$\begin{aligned} A_{s \text{ susut}} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } S_{\text{maks}} \leq 5h \text{ atau } S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø 10

$$S = 0,25 \pi \varnothing^2 b / A_s = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000 / 216 = 363,75 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } S = 363,75 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \quad (\text{Ok})$$

Maka dicoba  $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan Ø10-200

$$A_{s \text{ pakai}} = 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000 / 200 = 392,86 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat : } A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$392,86 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

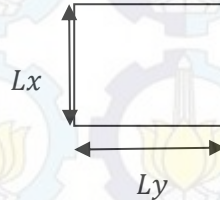
Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang  $l_x$  maupun  $l_y$ . Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar :  $0,25l_n$  dan  $0,25S_n$ , yaitu :

- Ke arah bentang panjang =  $0,25 \times 467,5 = 116,88 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek =  $0,25 \times 362,5 = 90,625 \text{ cm}$

#### 4.2.2.2 Perhitungan Pelat Lantai Tipe B

Pada perhitungan pelat lantai ditinjau pada salah satu pelat dengan luasan yang terbesar dari tipe pelat lainnya.

Data Perencanaan :



$$Lx = 4 \text{ m}$$

$$Ly = 4 \text{ m}$$

$$h \text{ pelat} = 12 \text{ cm}$$

$$b \text{ pelat} = 1000 \text{ mm}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\Phi = 0,8$$

$$\text{Decking} = 20 \text{ mm (SNI 03-3847-2013 pasal 7.7)}$$

$\beta_1 = 0.85$ .....	bila : $0 < f'_c \leq 30 \text{ MPa}$	} ..... (03-4)
$\beta_1 = 0.85 - 0.008 \times (f'_c - 30) \dots$	bila : $30 < f'_c \leq 55 \text{ MPa}$	
$\beta_1 = 0.65$ .....	bila : $f'_c > 55 \text{ MPa}$	

##### 1. Tipe pelat

$$\frac{Ly}{Lx} < 2 = \frac{4}{4} = 1 < 2 \text{ (Two ways slab)}$$

##### 2. Perhitungan beban pada pelat

Beban mati pada pelat :

Berat sendiri pelat ( $t=12\text{cm}$ )	=	288	kg/m <sup>2</sup>	
Granit 9,5 mm+ spesi 25 mm	=	59,3	kg/m <sup>2</sup>	ASCE7
Plafond + penggantung	=	11,3	kg/m <sup>2</sup>	Brosur
Mekanikal Elektrikal	=	40	kg/m <sup>2</sup>	PPIUG
Dinding (5m x 99,1 kg/m <sup>2</sup> )	=	495,5	kg/m <sup>2</sup>	Brosur
		<hr/>		
		894,1	kg/m <sup>2</sup>	



Beban hidup pada pelat :

Fungsi gedung sebagai tempat mall = 479 kg/m<sup>2</sup>

Beban ultimate rencana :

$$Q_u = 1,2D + 1,6 L$$

$$= 1,2 \times 894,1 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \times 479 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1839,311 \text{ kg/m}^2$$

3. Momen-momen pada pelat

*Koefisien momen* untuk pelat lantai atap 400 x 400 adalah:

Nilai  $M_{lx}$  = 21

Nilai  $M_{ly}$  = 21

Nilai  $M_{tx}$  = 52

Nilai  $M_{ty}$  = 52

$$M_{lx} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21$$

$$= 618,01 \text{ kgm}$$

$$M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 21$$

$$= 618,01 \text{ kgm}$$

$$M_{tx} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52$$

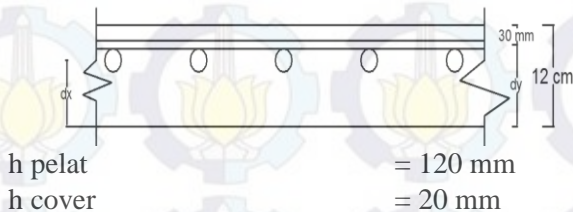
$$= 1530,31 \text{ kgm}$$

$$M_{ty} = 0,001 \cdot q_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \cdot 1839,311 \text{ kg/m}^2 \cdot (4 \text{ m})^2 \cdot 52$$

$$= 1530,31 \text{ kgm}$$

4. Penulangan Pelat



$$\text{asumsi } \varnothing \text{ tulangan pelat} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{asumsi } \varnothing \text{ sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} dx &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} D_{\text{tul}} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - \text{decking} - \text{sengkang} - \frac{1}{2} D_{\text{tul}} \\ &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \left( \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \left( \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{400} \right) \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

### Tulangan Lapangan arah X

$$M_u = M_{lx} = 6180084,96 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{lx}}{\phi} \\ &= \frac{6180084,96 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 7725106,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{7725106,2 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} \\ &= 0,856 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$



$$\rho = \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,856}{400}} \right) = 0,0022$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0022 < 0,024 \quad (\text{Ok})$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ , maka harus dinaikkan 30% sehingga

$$\rho_{\text{perlu}} = 30\% \times 0,0022 = 0,00065 + 0,022 = 0,0028$$

Karena setelah dinaikkan, nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  kecil dari  $\rho_{\min}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho_{\min}$ .

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000 \text{ mm} \times 95$$

$$= 332,5 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan =  $\varnothing 10 \text{ mm}$

$$A_s = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2$$

$$= 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{78500 \text{ mm}^3}{332,5 \text{ mm}^2}$$

$$= 236,09 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ pakai} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S}$$

$$= \frac{78500 \text{ mm}^3}{200 \text{ mm}}$$

$$= 392,9 \text{ mm}^2$$

Syarat tulangan :

$$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$$

$$392,9 \text{ mm}^2 > 332,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

**Tulangan Tumpuan arah X**

$$M_u = M_{tx} = 15303067,52 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u x}{\phi} \\ &= \frac{15303067,52 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 19128834,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{19128834,4 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} \\ &= 2,12 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,12}{400}} \right) \\ &= 0,0055 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0055 < 0,024 \quad (\text{Ok})$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0055 \times 1000 \text{ mm} \times 95$$

$$= 526,3 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan = Ø10 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2$$

$$= 78,5 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{78500 \text{ mm}^3}{526,3 \text{ mm}^2}$$



$$= 149,15 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S} \\ &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{100 \text{ mm}} \\ &= 785,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat tulangan :

$$\text{As pakai} > \text{As perlu}$$

$$785,7 \text{ mm}^2 > 526,3 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

### **Tulangan Lapangan arah Y**

$$M_u = M_{ly} = 6180084,96 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u x}{\phi} \\ &= \frac{6180084,96 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 7725106,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{7725106,2 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} \\ &= 1,069 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,069}{400}} \right) \\ &= 0,0027 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0027 < 0,024 \quad (\text{Tidak Ok})$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ , maka harus dinaikkan 30% sehingga

$$\rho_{\text{perlu}} = 30\% \times 0,0027 = 0,00082 + 0,025 = 0,0036$$

Karena setelah dinaikkan, nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  lebih besar atau sama dengan  $\rho_{\min}$ , maka yang digunakan adalah  $\rho_{\text{perlu}}$ .

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0036 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \\
 &= 301,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \times h \\
 &= 2 \times 120 \text{ mm} \\
 &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang digunakan = Ø10 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3.14 \times (10 \text{ mm})^2 \\
 &= 78,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_s \text{ perlu}} \\
 &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{301,8 \text{ mm}^2} \\
 &= 260,10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S} \\
 &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{200 \text{ mm}} \\
 &= 392,9 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat tulangan :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &> A_s \text{ perlu} \\
 392,9 \text{ mm}^2 &> 301,8 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

### **Tulangan Tumpuan arah Y**

$$M_u = M_{ty} = 15303067,52 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{15303067,52 \text{ Nmm}}{0,8} \\
 &= 19128834,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{19128834,4 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (85 \text{ mm})^2} \\
 &= 2,65 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{f_y}} \right) \\
 \rho &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,65}{400}} \right) \\
 &= 0,007
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,007 < 0,024 \text{ (Ok)}$$

$$\text{As perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,007 \times 1000 \text{ mm} \times 85$$

$$= 595,3 \text{ mm}^2$$

Syarat jarak antar tulangan :

$$S_{\max} = 2 \times h$$

$$= 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan = Ø10 mm

$$\text{As} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (10 \text{ mm})^2$$

$$= 78,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{\text{As perlu}} \\
 &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{595,3 \text{ mm}^2} \\
 &= 131,86 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pakai} &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{S} \\
 &= \frac{78500 \text{ mm}^3}{100 \text{ mm}} \\
 &= 785,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat tulangan :

As pakai > As perlu

$785,7 \text{ mm}^2 > 595,3 \text{ mm}^2$  (Ok)

### Tulangan Susut

Menurut *SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1* : Untuk tulangan mutu 400 MPa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$\begin{aligned} \text{As susut} &= \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot \text{tebal pelat} \\ &= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 120 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :  $S_{\text{maks}} \leq 5h$  atau  $S_{\text{maks}} \leq 450 \text{ mm}$

$$S_{\text{maks}} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø 10

$$S = 0,25 \pi \varnothing^2 b / \text{As} = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000 / 216 = 363,75 \text{ mm}$$

Syarat :  $S = 363,75 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$  (Ok)

Maka dicoba  $S = 200 \text{ mm}$

Dipakai tulangan Ø10-200

$$\text{As pakai} = 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000 / 200 = 392,86 \text{ mm}^2$$

Syarat : As pakai > As perlu

$$392,86 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang  $l_x$  maupun  $l_y$ . Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpu ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar :  $0,25l_n$  dan  $0,25S_n$ , yaitu :

- Ke arah bentang panjang =  $0,25 \times 367,5 = 91,875 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek =  $0,25 \times 367,5 = 91,875 \text{ cm}$

### 4.2.3 Perhitungan Pelat Tangga dan Bordes

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakannya. Dalam perencanaan ini tangga diasumsikan sebagai frame 2



dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi – sendi, sendi – jepit, sendi – rol.

Tangga pada bangunan pusat perbelanjaan 3 lantai di Suarabaya ini akan dimodelkan sebagai frame statis tak tentu (penyelesaian dengan cara cross) dengan kondisi perletakan berupa sendi (diletakkan di ujung bordes) dan jepit diletakkan pada ujung sloof atau balok induk).

Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga As (A-B; 6-7). Adapun data-data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut :

Type plat	: plat tangga
Mutu beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
$\beta$	: 0,85
Tebal plat	: 15 cm
Tebal selimut beton	: 20 mm
Diameter tulangan lentur	: 16 mm
Diameter tulangan susut	: 10 mm
BJ beton	: 2400 kg/m <sup>3</sup>



**Gambar 4. 34 Potongan Pelat Tangga**

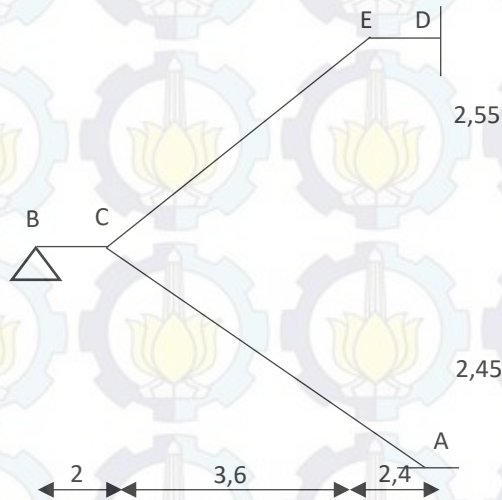
Tebal manfaat Plat:

$$\begin{aligned} d_x &= \text{tebal pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \varnothing \\ &= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (\frac{1}{2} \cdot 16 \text{ mm}) \\ &= 122 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_y = \text{tebal pelat} - \text{decking} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing$$

$$= 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 16 \text{ mm} - \left(\frac{1}{2} \cdot 16 \text{ mm}\right) \\ = 106 \text{ mm}$$

- Mekanika Tangga



**Gambar 4. 35 Pemodelan Tangga**

Panjang miring tangga AC  $= \sqrt{(3,6)^2 + (2,45)^2}$   
 $= 4,35 \text{ meter}$

Panjang miring tangga CE  $= \sqrt{(3,6)^2 + (2,55)^2}$   
 $= 4,41 \text{ meter}$

Angka kekakuan :

- Perletakan jepit-jepit,  $K = (4EI)/L$
- Perletakan jepit-sendi,  $K = (3EI)/L$

Faktor distribusi ( $\mu$ )

$$\mu_{CA} : \mu_{CB} : \mu_{BC} : \mu_{CE} : \mu_{EC} : \mu_{ED} : \mu_{DE}$$

$$= \frac{4EI}{4,3546} : \frac{4EI}{2} : \frac{4EI}{2} : \frac{4EI}{4,4116} : \frac{4EI}{4,4116} : \frac{4EI}{2,4} : \frac{4EI}{2,4}$$

$$0,9186EI : 2EI : 2EI : 0,9067EI : 0,9067EI : 1,6667EI : 1,6667EI$$



$$\begin{aligned}\mu_{CA} &= \frac{\mu_{CA}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,0913 \\ \mu_{CB} &= \frac{\mu_{CB}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,1987 \\ \mu_{BC} &= \frac{\mu_{BC}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,1987 \\ \mu_{CE} &= \frac{\mu_{CE}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,0901 \\ \mu_{EC} &= \frac{\mu_{EC}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,0901 \\ \mu_{ED} &= \frac{\mu_{ED}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,1656 \\ \mu_{DE} &= \frac{\mu_{DE}}{\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE}} = 0,1656\end{aligned}$$

Kontrol:

$$\mu_{CA} + \mu_{CB} + \mu_{BC} + \mu_{CE} + \mu_{EC} + \mu_{ED} + \mu_{DE} = 1 \quad (\text{ok})$$

#### Momen Primair

$$MF_{CA} = 1/8 \times 2758,5 \text{ kg/m} \times (4,3 \text{ m})^2 = 6538,52 \text{ kgm}$$

$$MF_{CB} = -1/12 \times 2585,2 \text{ kg/m} \times (2 \text{ m})^2 = -861,733 \text{ kgm}$$

$$MF_{BC} = 1/12 \times 2585,2 \text{ kg/m} \times (2 \text{ m})^2 = 861,733 \text{ kgm}$$







$$MF_{CE} = 1/12 \times 2766,56 \text{ kg/m} \times (4,4 \text{ m})^2 = 4487,02 \text{ kgm}$$

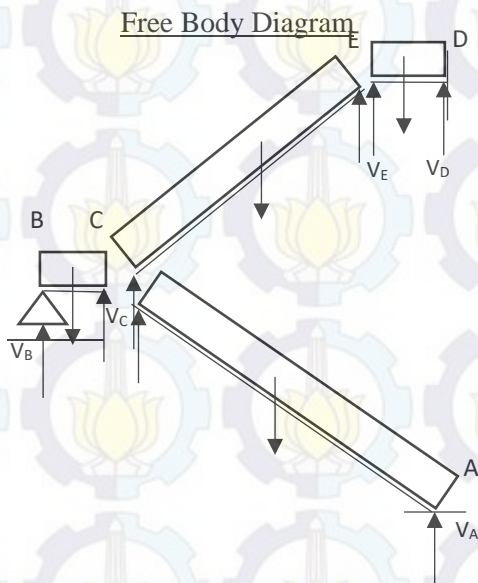
$$MF_{EC} = -1/12 \times 2766,56 \text{ kg/m} \times (4,4 \text{ m})^2 = -4487,02 \text{ kgm}$$

$$MF_{ED} = 1/12 \times 2766,56 \text{ kg/m} \times (2,4 \text{ m})^2 = 1327,95 \text{ kgm}$$

$$MF_{DE} = -1/12 \times 2766,56 \text{ kg/m} \times (2,4 \text{ m})^2 = -1327,95 \text{ kgm}$$

Tabel Cross

Titik	A	C			B	E		D
Batang	AC	CA	CB	CE	BC	EC	ED	DE
FD	0	-0,091	-0,199	-0,090	-0,199	-0,090	-0,166	-0,166
MF	-4359	4359,012	-1292,600	4487,020	1292,600	-4487,020	1327,951	-1327,951
MD	0	-689,335	-1500,887	-680,422	-256,843	284,573	523,096	219,889
MI	-345	0,000	-128,422	142,286	-750,443	-340,211	109,945	261,548
MD	0,00	-1,265	-2,755	-1,249	149,115	20,743	38,129	-43,309
MI	-0,63	0,000	74,558	10,371	-1,378	-0,624	-21,654	19,064
MD	0,00	-7,751	-16,876	-7,651	0,274	2,007	3,689	-3,157
MI	-3,88	0,000	0,137	1,003	-8,438	-3,825	-1,578	1,845
MD	0,00	-0,104	-0,227	-0,103	1,677	0,487	0,895	-0,305
MI	-0,05	0,000	0,838	0,243	-0,113	-0,051	-0,153	0,447
MD	0,00	-0,099	-0,215	-0,097	0,023	0,018	0,034	-0,074
MI	-0,05	0,000	0,011	0,009	-0,107	-0,049	-0,037	0,017
MD	0,00	-0,002	-0,004	-0,002	0,021	0,008	0,014	-0,003
MI	0,00	0,000	0,011	0,004	-0,002	-0,001	-0,001	0,007
MD	0,00	-0,001	-0,003	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001
MI	0,00	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000
Jumlah	-1048	3660,455	-2866,433	3951,413	426,384	-4523,947	1980,328	-871,981
Momen								





Batang AC

$$\Sigma M_A = 0, \text{ misal } V_C \uparrow$$

$$M_{AC} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - V_C \cdot L = 0$$

$$3660,455 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} \cdot (2758,5) \cdot (4,35)^2 - V_C \cdot (4,35) = 0$$

$$V_C = (3660,455 + 26098,85) / (4,35)$$

$$V_C = 6841,2 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_A = (q \cdot L) - V_C$$

$$V_A = (2758,5) \cdot (4,35) - 6841,2$$

$$V_A = 5158,275 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang CB

$$\Sigma M_C = 0, \text{ misal } V_B \uparrow$$

$$-M_{CB} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - V_B \cdot L = 0$$

$$-2866,43 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} \cdot (2585,2) \cdot (2)^2 - V_B \cdot (2) = 0$$

$$V_B = (-2866,43 + 5170,4) / (2)$$

$$V_B = 1151,98 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_C = (q \cdot L) - V_B$$

$$V_C = (2585,2) \cdot (2) - 1151,98$$

$$V_C = 4018,42 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang CE

$$\Sigma M_C = 0, \text{ misal } V_E \uparrow$$

$$M_{CE} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - V_E \cdot L = 0$$

$$3951,4 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} \cdot (2766,56) \cdot (4,41)^2 - V_E \cdot (4,41) = 0$$

$$V_E = (3951,4 + 26902,16) / (4,41)$$

$$V_E = 6996,3 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_C = (q \cdot L) - V_E$$

$$V_C = (2766,56) \cdot (4,41) - 6996,3$$

$$V_C = 5204,23 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang ED

$$\Sigma M_E = 0, \text{ misal } V_D \uparrow$$

$$M_{ED} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - V_D \cdot L = 0$$

$$1980,3 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} \cdot (2585,2) \cdot (2,4)^2 - V_D \cdot (2,4) = 0$$

$$V_D = (1980,3 + 7445,4) / (2,4)$$

$$V_D = 3927,375 \text{ kg (ke atas)}$$

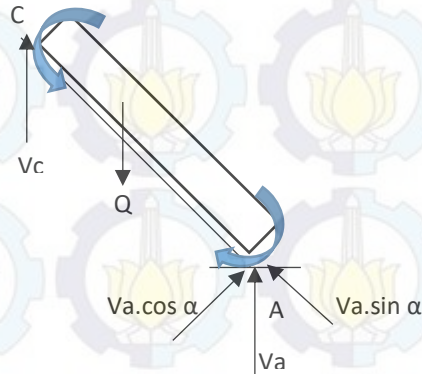
$$V_E = (q.L) - V_D$$

$$V_E = (2585,2).(2,4) - 3927,375$$

$$V_E = 2277,105 \text{ kg (ke atas)}$$

Mencari M max

Batang AC



$$\tan \alpha = (\text{tinggi tangga})/(\text{panjang datar tangga})$$

$$= (2,45)/(3,6)$$

$$\alpha = 34,24^\circ$$

$$N_{AC} = -V_A \cdot \sin \alpha$$

$$= -5158,275 \cdot \sin(34,24)$$

$$= -2902,36 \text{ kg}$$

$$D_{AC} = V_A \cdot \cos \alpha$$

$$= 5158,275 \cdot \cos(34,24)$$

$$= 4264,3 \text{ kg}$$

$$D_{CA} = V_C \cdot \cos \alpha$$

$$= 6841,2 \cdot \cos(34,24)$$

$$= 5655,54 \text{ kg}$$

$$D_X = 0 \text{ (titik A dianggap 0)}$$

$$V_C \cdot \cos \alpha - q \cdot X = 0$$

$$6841,2 \cdot \cos(34,24) - 2758,5 \text{ kg/m} \cdot X = 0$$

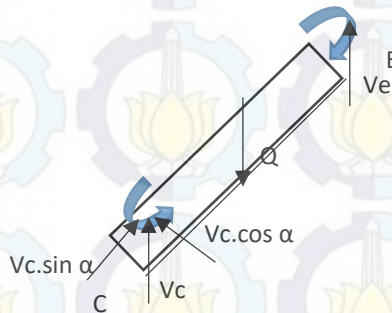
$$X = (5655,54) / 2758,5$$

$$= 2,1 \text{ (dari titik C)}$$



$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= V_C \cdot \cos \alpha \cdot X - \frac{1}{2} \cdot q \cdot X^2 - M_{AC} + M_{CA} \\
 &= (5655,54)(2,1) - (\frac{1}{2} \cdot 2758,5 \cdot 2,1^2) - 1048 + 3660,45 \\
 &= 8406,6 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Batang CE



$$\begin{aligned}
 \tan \alpha &= (\text{tinggi tangga}) / (\text{panjang datar tangga}) \\
 &= (2,55) / (3,6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 35,31^\circ \\
 N_{CE} &= -V_C \cdot \sin \alpha \\
 &= -5204,23 \cdot \sin (35,31) \\
 &= -3008,1 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{CE} &= V_C \cdot \cos \alpha \\
 &= 5204,23 \cdot \cos (35,31) \\
 &= 4246,84 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{EC} &= V_E \cdot \cos \alpha \\
 &= 6996,3 \cdot \cos (35,31) \\
 &= 5709,24 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$D_X = 0 \text{ (titik C dianggap 0)}$$

$$\begin{aligned}
 V_E \cdot \cos \alpha - q \cdot X &= 0 \\
 6996,3 \cdot \cos (35,31) - 2766,56 \text{ kg/m} \cdot X &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X &= (5709,24) / 2766,56 \\
 &= 2,06 \text{ (dari titik E)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= V_E \cdot \cos \alpha \cdot X - \frac{1}{2} \cdot q \cdot X^2 + M_{CE} - M_{EC} \\
 &= (6996,3)(2,06) - (\frac{1}{2} \cdot 2766,56 \cdot 2,06^2) + 3951,4 - 4523,95 \\
 &= 7969,67 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Sehingga,

Momen tumpuan A = 1048 kg.m

Momen tumpuan C = 4745,43 kg.m

Momen tumpuan B = 426,38 kg.m

Momen tumpuan E = 2543,65 kg.m

Momen tumpuan D = 871,98 kg.m

Momen max tangga AC = 8406,6 kg.m

Momen max tangga CE = 7969,67 kg.m

Momen max bordes CB = 2866,43 kg.m

Momen max bordes ED = 2866,43 kg.m

Sebagai pembanding dengan bantuan program SAP 2000 didapatkan momen sebesar 6348,734 kg.m sehingga untuk perhitungan tulangan memakai momen perhitungan cross.

#### 4.2.3.1 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

Tulangan Minimum dan Maksimum

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,85$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,85)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,325$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot (30)}$$

$$= 15,69$$

- Penulangan Pelat Arah Y



$$M_U = 84066000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$dx = 122 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (M_U)/\phi \\ &= (84066000 \text{ N.mm})/(0,8) \\ &= 93406666,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= (M_n)/(b \cdot d_x^2) \\ &= (93406666,7 \text{ N.mm})/((1000)(122^2)) \\ &= 6,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (6,27)}{400}} \right] \\ &= 0,0183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,0183 < 0,0244 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,0164$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_x \\ &= (0,0183) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (122 \text{ mm}) \\ &= 2235,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat spasi antar tulangan : } S_{\max} \leq 2h$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \cdot (150) \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Dicoba tulangan } \emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (16)^2 \cdot (1000)}{2235,28} \\ &= 89,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 89,98 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm (OK)}$$

$$\text{Maka digunakan } S = 80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (16^2) \cdot (1000)/(80) \\ &= 2514,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat,  $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$   
 $2514,28 \text{ mm}^2 > 2235,28 \text{ mm}^2$  (**OK**)

Sehingga digunakan tulangan  $\emptyset 16-80$

- Tulangan Susut Tangga (Arah X)  
 Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018  
 $A_s \text{ susut} = \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal plat}$   
 $= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$   
 $= 270 \text{ mm}^2$

Syarat :  $S_{\max} \leq 5h$  atau  $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$

$$S_{\max} = 5(150) \\ = 750 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 10$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\ = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 \cdot (1000)}{270} \\ = 290,74 \text{ mm}$$

Syarat  $S = 290,74 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$  (**OK**)

Maka dicoba  $S = 250 \text{ mm}$

Dipakai Tulangan  $\emptyset 10 - 250$ .

$$A_s \text{ pakai} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ = (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (250) \\ = 314 \text{ mm}^2$$

Syarat,  $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$   
 $314 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$  (**OK**)

Sehingga digunakan tulangan susut X  $\emptyset 10-250$ .

#### 4.2.3.2 Perhitungan Tulangan Pelat Bordes

- Tulangan Minimum dan Maksimum  
 Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$



$$\begin{aligned}
 \beta &= 0,85 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,85)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,325 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,325 \\
 &= 0,0244 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

- Penulangan Pelat Arah Y

$$\begin{aligned}
 M_U &= 47454300 \text{ N.mm} \\
 \phi &= 0,8 \\
 dx &= 122 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_U)/\phi \\
 &= (47454300 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 52727000 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b \cdot d_x^2) \\
 &= (52727000 \text{ N.mm})/((1000)(122^2)) \\
 &= 3,54 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (3,54)}{400}} \right] \\
 &= 0,0095
 \end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0095 < 0,0244$  (**OK**)

Maka  $\rho = 0,0042$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= (0,0095) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (122 \text{ mm}) \\
 &= 1168,21 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antartulangan :  $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \cdot (150) \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan  $\emptyset = 16 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (16)^2 (1000)}{1168,21} \\
 &= 172,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 172,2 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan  $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (16^2) \cdot (1000) / (150) \\
 &= 1340,95 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\
 1340,95 \text{ mm}^2 &> 1168,21 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan  $\emptyset 16-150$

- Tulangan Susut Bordes (Arah X)

Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ susut} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal plat} \\
 &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \\
 &= 270 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :  $S_{\max} \leq 5h$  atau  $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 5(150) \\
 &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 10$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 (1000)}{270} \\
 &= 290,74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Syarat  $S = 290,74 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$  (**OK**)

Maka dicoba  $S = 250 \text{ mm}$

Dipakai Tulangan  $\emptyset 10 - 250$ .

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ = (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (250) \\ = 314 \text{ mm}^2$$

Syarat,  $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$

$$314 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2 \text{ (**OK**)}$$

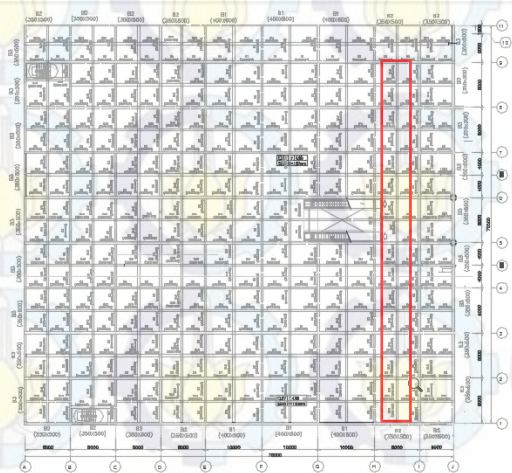
Sehingga digunakan tulangan  $X \emptyset 10-250$ .

#### 4.2.4 Perhitungan Balok

##### 4.2.4.1 Perhitungan Balok Induk (B1)

a. Data perencanaan :

Perhitungan tulangan balok induk : **B1 (40/60)** As 4 (F-F')  
elevasi  $\pm 15,00$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah balok, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok induk dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 36 Denah Pembalokan

Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok	= B1
As balok	= 4 (F-F')
Bentang balok	= 5 m
b	= 40 cm
h	= 60 cm
Mutu beton	= 30 Mpa
Mutu baja lentur	= 400 Mpa
Mutu baja geser	= 240 Mpa
Mutu baja puntir	= 400 Mpa
D tul. Lentur	= 25 mm
D tul. Geser	= 10 mm
D tul. Puntir	= 25 mm
Jarak antar tulangan	= 25 mm

**(SNI 2847-2013, pasal 7.6.1)**

Decking	= 40 mm
---------	---------

**(SNI 2847-2013, pasal 7.7.1 c)**

Faktor $\beta_1$	= 0,85
------------------	--------

**(SNI 2847-2013, pasal 10.2.7)**

Faktor reduksi lentur	= 0,9
-----------------------	-------

**(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)**

Faktor reduksi geser	= 0,75
----------------------	--------

**(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)**

Faktor reduksi puntir	= 0,75
-----------------------	--------

**(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)**

Perhitungan tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tul.lentur} \\ &= 600 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 25 \text{ mm} \\ &= 537,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= h - d \\ &= 600 \text{ mm} - 537,5 \text{ mm} \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Hasil output dari program SAP :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa:

1.  $U = 1,4 D$
2.  $U = 1,2 D + 1,6 L$
3.  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4.  $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebanan gempa:

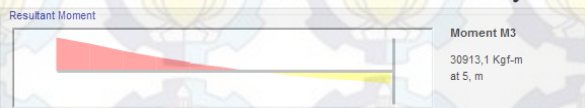
1.  $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
2.  $U = 0,9 D + 1,0 E$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi  $1,2 D + 1,0 E_x + 0,3 E_y$  adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

$$\begin{aligned} \text{a. Momen puntir} &= 71791200 \text{ Nmm} \\ \text{Kombinasi} &= 1,2D + 0,3E_x + 1E_y \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{b. Momen lentur} &= -309131000 \text{ Nmm} \\ \text{-Momen Lapangan} &= -309131000 \text{ Nmm} \\ \text{Kombinasi} &= 1,2D + 0,3E_x + 1E_y \end{aligned}$$



-Momen tump. kanan= 842596100 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$

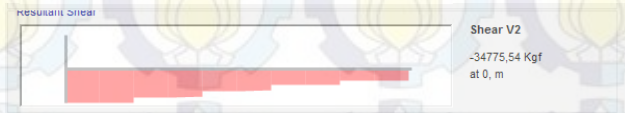


-Momen tump. kiri = -842596100 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$



c. Gaya geser

-Gaya geser tumpuan = -347755,4 N  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$



Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom

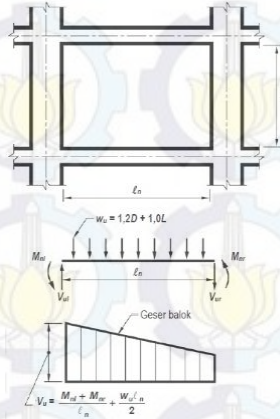
### Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3 (2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$A_g \times f_c' / 10 = 400 \times 600 \times 30 / 10 = 720000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D + 1,6L + 0,5R$  pada komponen struktur sebesar  $112750,43 \text{ N} < 720000 \text{ N}$ .





Gambar 4. 37 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).**

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur, dan puntir :

Luasan yang dibatasi luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \text{ balok} \times h \text{ balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} = 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b \text{ balok} + h \text{ balok}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) = 2000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi As luasan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ balok} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \varnothing \text{ geser}) \times (h \text{ balok} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \varnothing \text{ geser}) \\ &= (400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) \\ &\quad \times (600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 \text{Poh} &= 2 \times [(b \text{ balok} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{Øgeser}) + (h \text{ balok} \\
 &\quad - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{Øgeser})] \\
 &= 2 \times [(400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) + \\
 &\quad (600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm})] \\
 &= 1600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Tulangan Puntir**

$$\text{Momen puntir (Tu)} = 71791200 \text{ Nmm}$$

$$\text{Kombinasi} = 1,2D + 0,3Ex + 1Ey$$

Momen puntir nominal (Tn)

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} = \frac{71791200 \text{ Nmm}}{0,75} = 95721600 \text{ Nmm}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.5)**

Pengaruh puntir dapat diabaikan apabila Tu besarnya kurang dari beberapa kondisi yaitu :

$$Tu_{\min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

**(SNI 2847-2013, pasal 11.5.1)**

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times \left( \frac{(240000 \text{ mm})^2}{2000 \text{ mm}^2} \right) \\
 &= 9819570 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$Tu_{\max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times \left( \frac{(240000 \text{ mm})^2}{2000 \text{ mm}^2} \right) \\
 &= 39041663,90 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Tu < Tu min maka tulangan puntir diabaikan

Tu > Tu min maka memerlukan tulangan puntir

Cek momen puntir :

$$Tu = 71791200 \text{ Nmm} > Tu_{\min} = 9819570 \text{ Nmm}$$

Maka memerlukan tulangan puntir

Tulangan puntir untuk lentur :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$



(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)

$$\frac{At}{s} = \frac{95721600 \text{ Nmm}}{2 \times 150000 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times 1}$$

$$\frac{At}{s} = 0,8 \text{ mm}$$

$$Al = \frac{At}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7)

$$Al = 0,8 \times 1600 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times 1^2$$

$$= 1276,29 \text{ mm}^2$$

Tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$0,8 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 400 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$0,8 \text{ mm} \geq 0,175 \text{ mm}$$

Maka nilai  $At/s$  yang diambil = 0,175 mm

Cek nilai  $Al$  min dengan persamaan :

$$Al \text{ min} = \frac{0,42 \times \sqrt{f_{ci}} \times A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{At}{s} \right) \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ Mpa} \times 240000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}}$$

$$- 0,175 \text{ mm} \times 1600 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$= 1100,26 \text{ mm}^2$$

$Al \text{ perlu} > Al \text{ min}$

$$1276,29 \text{ mm}^2 > 1100,26 \text{ mm}^2$$

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$  menggunakan  $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$  menggunakan  $Al \text{ perlu}$

Digunakan  $Al \text{ perlu} = 1276,29 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{A_l}{4} = \frac{1276,29 \text{ mm}^2}{4} = 319,07 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Pada sisi atas disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah disalurkan pada tulangan tekan balok
- Pada samping balok mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $0,5A_l$ , sehingga  $A_l$  pada sisi samping balok :  
 $= 0,5 A_l + A_s \text{ pasang}$   
 $= (0,5 \times 1276,29 \text{ mm}^2) + 1276,29 \text{ mm}^2 = 1914 \text{ mm}^2$

D asumsi : 25 mm

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan puntir :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_l}{\text{Luas tulangan}} \\ &= \frac{1914 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} \\ &= 3,9 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ pasang} &= n \times \text{luasan D puntir} \\ &= 4 \times 490,87 \text{ mm}^2 = 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_l \text{ pasang} &> A_l \text{ perlu} \\ 1963,5 \text{ mm}^2 &> 1914 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan puntir di tumpuan kanan, kiri, dan lapangan dipasang sebesar : 4 D25



### Perhitungan Tulangan Lentur

Garis netral kondisi balanced

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \times 537,5 \text{ mm}$$

$$= 322,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times Xb = 241,88 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 62,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm (asumsi)}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm}$$

$$= 867000 \text{ N}$$

Luasan tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y}$$

$$= 2167,5 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2167,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times$$

$$\left( 537,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 100 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 429165000 \text{ Nmm}$$

- **Daerah Tumpuan Kanan**

$$Mu = 842596100 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{842596100 \text{ Nmm}}{0,9} = 936217888,9 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 936217888,9 \text{ Nmm} - 429165000 \text{ Nmm}$$

$$= 507052888,9 \text{ Nmm} > 0$$

maka perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur ganda

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{936217888,9 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (537,5 \text{ mm})^2} = 7,365$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

*(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)*

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right)}{400 \text{ Mpa}}$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 7,365}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0,0223 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$



$$0,0035 < 0,0223 < 0,0244 \quad (\text{Ok})$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0223 \times 400 \text{ mm} \times 537,5 \text{ mm} \\ &= 4798,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas balok

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_l/4 \\ &= 4798,66 \text{ mm}^2 + 319,07 \text{ mm}^2 \\ &= 5117,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{5117,73 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} = 10,42$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 11 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 11 \times 490,87 \text{ mm}^2 \\ &= 5399,61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 5399,61 \text{ mm}^2 &> 5117,73 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah balok (bottom)  
(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 5399,61 \text{ mm}^2 \\ &= 1619,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D25

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan (bawah)

$$n = \frac{As'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1619,88 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} = 3,3$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 4 buah

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 4 \times 490,87 \text{ mm}^2 \\ &= 1963,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1963,5 \text{ mm}^2 > 1619,88 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, 1 \text{ lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, \text{ lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi_{geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 11 \times 25 \text{ mm}}{11-1} \\ &= 2,5 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (tidak ok)} \end{aligned}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ( $S_{max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b) / n - 1 \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 25) / 6 - 1 \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi b) / n - 1 \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25) / 5 - 1 \\ &= 43,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$43,75 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$



Kontrol tulangan tekan :

$$\begin{aligned} \text{Smaks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi_{\text{geser}} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 4 \times 25 \text{ mm}}{4-1} \\ &= 66,67 \text{ mm} \text{ Smaks} \geq \text{Ssejajar (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik 2 lapis = 11 D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 4 D25

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

As pasang = 5399,61 mm<sup>2</sup> (11 D25)

As' pasang = 1963,5 mm<sup>2</sup> (4 D25)

M lentur tumpuan (+) ≥ 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$1963,5 \text{ mm}^2 \geq 1799,87 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Kontrol kemampuan lapangan :

As pakai tulangan tarik = 5399,61 mm<sup>2</sup> (11 D25)

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{5399,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm}} \\ &= 211,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 211,75 \text{ mm}^2$$

$$= 2159844,95 \text{ N}$$

$$Cs' = As \text{ pakai} \times f_y$$

$$= 5399,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 2159844,95 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left( Cc'x \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs'x d - d') \\
 &= \left( 2159844,95 \text{ N} \times \left( 537,5 \text{ mm} - \frac{211,75 \text{ mm}^2}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (2159844,95 \text{ N} \times 537,5 \text{ mm} - 62,5 \text{ mm}) \\
 &= 1958169961,94 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

Mn pasang > Mn perlu

1958169961,94 Nmm > 936217888,89 Nmm (Ok)

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah tumpuan kanan sebesar :

Tulangan lentur tarik 2 lapis = 11 D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 4 D25

#### • Daerah Tumpuan Kiri

$M_u = 842596100 \text{ Nmm}$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{842596100 \text{ Nmm}}{0,9} = 936217888,9 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} = M_n - M_{nc}$

$$= 936217888,9 \text{ Nmm} - 429165000 \text{ Nmm}$$

$$= 507052888,9 \text{ Nmm} > 0$$

maka perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur ganda

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{936217888,9 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (537,5 \text{ mm})^2} = 7,365$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right)}{400 \text{ Mpa}}$$



$$\begin{aligned}
 &= 0,0325 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b = 0,0244 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 7,365}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\
 &= 0,0223
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,0223 < 0,0244 \quad (\text{Ok})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0223 \times 400 \text{ mm} \times 537,5 \text{ mm} \\
 &= 4798,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\
 &= 490,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas balok

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + A_l/4 \\
 &= 4798,66 \text{ mm}^2 + 319,07 \text{ mm}^2 \\
 &= 5117,73 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{5117,73 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} = 10,42$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 11 buah

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n \times \text{luas lentur} \\
 &= 11 \times 490,87 \text{ mm}^2 \\
 &= 5399,61 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$5399,61 \text{ mm}^2 > 5117,73 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah balok (bottom)

*(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)*

$$As' = 0,3 \times As$$

$$= 0,3 \times 5399,61 \text{ mm}^2$$

$$= 1619,88 \text{ mm}^2$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D25

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$As = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2$$

$$= 490,87 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (bawah)

$$n = \frac{As'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1619,88 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} = 3,3$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 4 buah

As pasang = n x luasan lentur

$$= 4 \times 490,87 \text{ mm}^2$$

$$= 1963,5 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1963,5 \text{ mm}^2 > 1619,88 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm}$ , 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm}$ , lebih dari 1 lapis

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} Smaks &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 11 \times 25 \text{ mm}}{11-1} \\ &= 2,5 \text{ mm} \quad Smaks \geq Ssejajar \text{ (tidak ok)} \end{aligned}$$



*Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ( $S_{max} \leq 25\text{mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.*

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 1

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi_b) / n - 1 \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 25) / 6 - 1 \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$  agregat

$$30 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

- Kontrol Tulangan Tarik Lapis 2

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \phi_b) / n - 1 \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25) / 5 - 1 \\ &= 43,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat}$  agregat

$$43,75 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2 \times \text{decking} - 2 \times \phi_{geser} - n \times D_{lentur}}{n - 1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 4 \times 25 \text{ mm}}{4 - 1} \\ &= 66,67 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik 2 lapis = 11 D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 4 D25

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur \text{ tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan (-)}}$$

**(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)**

As pasang = 5399,61 mm<sup>2</sup> (11 D25)

As' pasang = 1963,5 mm<sup>2</sup> (4 D25)

M lentur tumpuan (+) ≥ 1/3 M lentur tumpuan (-)

1963,5 mm<sup>2</sup> ≥ 1799,87 mm<sup>2</sup> (Ok)

Kontrol kemampuan lapangan :

As pakai tulangan tarik = 5399,61 mm<sup>2</sup> (11 D25)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{5399,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm}} \\ = 211,75 \text{ mm}^2$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 211,75 \text{ mm}^2$$

$$= 2159844,95 \text{ N}$$

$$Cs' = As \text{ pakai} \times f_y$$

$$= 5399,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 2159844,95 \text{ N}$$

$$Mn = \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( Cs' \times d - d' \right) \\ = \left( 2159844,95 \text{ N} \times \left( 537,5 \text{ mm} - \frac{211,75 \text{ mm}^2}{2} \right) \right) \\ + (2159844,95 \text{ N} \times 537,5 \text{ mm} - 62,5 \text{ mm}) \\ = 1958169961,94 \text{ Nmm}$$

Syarat :

Mn pasang > Mn perlu

1958169961,94 Nmm > 936217888,89 Nmm (Ok)

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah tumpuan kanan sebesar :

Tulangan lentur tarik 2 lapis = 11 D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 4 D25

- Daerah Lapangan**

$$Mu = -309131000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{-309131000 \text{ Nmm}}{0,9} = -343478888,9 \text{ Nmm}$$



Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$Mns = Mn - Mnc$

$$= -343478888,9 \text{ Nmm} - 429165000 \text{ Nmm}$$

$$= -856861111,11 \text{ Nmm} < 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{343478888,9 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \times (537,5 \text{ mm})^2} = 2,972$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

**(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)**

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,972}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,0079$$

Syarat :

$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,0079 < 0,0244 \quad (\text{Ok})$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0079 \times 400 \text{ mm} \times 537,5 \text{ mm} \\ &= 1703,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas balok

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1703,43 \text{ mm}^2 + 319,07 \text{ mm}^2 \\ &= 2022,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{2022,5 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} = 4,12$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 5 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 5 \times 490,87 \text{ mm}^2 \\ &= 2454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 2454,37 \text{ mm}^2 &> 2022,5 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah balok (bottom)  
(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 2454,37 \text{ mm}^2 \\ &= 736,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D25

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan(bawah)



$$n = \frac{As'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{736,31 \text{ mm}^2}{490,87 \text{ mm}^2} = 1,5$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 2 buah

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 2 \times 490,87 \text{ mm}^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$981,75 \text{ mm}^2 > 736,31 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, 1 \text{ lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, \text{ lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 5 \times 25 \text{ mm}}{5-1} \\ &= 43,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)}$$

Kontrol tulangan tekan :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm} - 2 \times 25 \text{ mm}}{2-1} \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)}$$

Dipasang tulangan lentur pada balok untuk daerah lapangan :

$$\text{Tulangan lentur tarik 1 lapis} = 5 \text{ D25}$$

$$\text{Tulangan lentur tekan 1 lapis} = 2 \text{ D25}$$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang

terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur \text{ tumpuan } (+)} \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan } (-)}$$

**(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)**

$$A_s \text{ pasang} = 2454,37 \text{ mm}^2 \text{ (5 D25)}$$

$$A_s' \text{ pasang} = 981,75 \text{ mm}^2 \text{ (2 D25)}$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan } (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan } (-)}$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 818,12 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Kontrol kemampuan lapangan :

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik} = 2454,37 \text{ mm}^2 \text{ (5 D25)}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{2454,37 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm}}$$

$$= 96,25 \text{ mm}^2$$

$$C_c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 96,25 \text{ mm}^2$$

$$= 981750 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$= 2454,37 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 981747,7 \text{ N}$$

$$M_n = \left( C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s' \times d - d' \right)$$

$$= \left( 981750 \text{ N} \times \left( 537,5 \text{ mm} - \frac{96,25 \text{ mm}^2}{2} \right) \right)$$

$$+ (981747,7 \text{ N} \times 537,5 \text{ mm} - 62,5 \text{ mm})$$

$$= 946774176,25 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$946774176,25 \text{ Nmm} > 343478889,8 \text{ Nmm} \text{ (Ok)}$$

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah lapangan sebesar :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 5 D25

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D25



• **Perhitungan Tulangan Geser**

Dari perhitungan lentur didapatkan :

a. Tumpuan kanan

As pakai tulangan tarik = 5399,61 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan= 1963,5 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul. tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1963,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm}} = 46,2$$

$$\begin{aligned} MnR &= As \text{ tul. tarik} \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 5399,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times (537,5 \text{ mm} - 46,2/2) \\ &= 666614615,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

b. Tumpuan kiri

As pakai tulangan tarik = 5399,61 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan= 1963,5 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul. tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1963,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm}} = 46,2$$

$$\begin{aligned} MnL &= As \text{ tul. tarik} \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 5399,61 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times (537,5 \text{ mm} - 46,2/2) \\ &= 666614615,2 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasar hasil output SAP didapatkan gaya geser terfaktor sebesar :

$$Vu = -347755,4 \text{ N}$$

Gaya geser diujung perletakan diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

$$Vu1 = \frac{666614615,2 \text{ Nmm} + 666614615,2 \text{ Nmm}}{4200 \text{ mm}} + 347755,4 \text{ N}$$

$$= 665190,9 \text{ N}$$

(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.3.1)

Syarat kuat tekan beton ( $f_c'$ )

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,48 < 8,3 \text{ Mpa} \quad (\text{Ok})$$

(SNI 2847-2013, Pasal 11.1.2)

Kuat geser beton dengan  $\lambda = 1$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 400 \text{ mm} \times 537,5 \text{ mm} \\ = 200192,59 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times 400 \text{ mm} \times 537,5 \text{ mm} \\ = 71666,67 \text{ N}$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 400 \text{ mm} \times 537,5 \text{ mm} \\ = 785069 \text{ N}$$

Wilayah pembagian geser balok :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak 2 kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah. bentang. (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)
2. Wilayah 2 (daerah lapangan), mulai dari wilayah 1 atau 3 sampai setengah bentang balok.

- Penulangan Geser Balok

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$V_{u1} = 665190,9 \text{ N}$$

Cek kondisi :

**Kondisi geser 1 (Tidak perlu tulangan geser)**

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$



$$665190,9 \text{ N} \leq 75072,22 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

**Kondisi geser 2 (Tulangan geser minimum)**

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_u \leq \phi \times V_c$$

$$75072,22 \text{ N} \leq 665190,9 \text{ N} \leq 150144,45 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 3 (Tulangan geser minimum)**

$$\phi \times V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s \min})$$

$$150144,45 \text{ N} \leq 665190,9 \text{ N} \leq 203894,45 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 4 (Perlu tulangan geser)**

$$\phi (V_c + V_{s \min}) \leq V_u \leq \phi \left( V_c + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \right)$$

$$203894,45 \text{ N} \leq 665190,9 \text{ N} \leq 444545,32 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 5 (Perlu tulangan geser)**

$$\phi (V_c + V_{s \max}) \leq V_u \leq \phi (V_c + 2V_{s \max})$$

$$444545,32 \text{ N} \leq 665190,9 \text{ N} \leq 1327747,94 \text{ N}$$

**(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 5

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{665190,9 \text{ N} - 0,75 \times 200192,59 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 464998,34 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu

$$S \text{ perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 537,5 \text{ mm}}{464998,34 \text{ N}}$$

$$= 43,38 \text{ mm}$$

Dipakai jarak  $S = 100 \text{ mm}$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok:** Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 cm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi : *(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.2)*

$$Spakai \leq \frac{d}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{537,5 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq 134,375 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 8 D \text{ tul. longitudinal}$$

$$100 \text{ mm} \leq 8 \times 25 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 24 \emptyset \text{ sengkang}$$

$$100 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 300$$

$$100 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kesimpulan :

Tulangan geser pada daerah tumpuan 1 dan 3 dipakai tulangan sebesar :  $\emptyset 10\text{-}100 \text{ mm}$



## 2. Wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu1}{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}$$

$$Vu2 = \frac{0,5ln}{0,5ln} \times \frac{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{665190,9 \text{ N} \times (0,5 \times 4200 - 2 \times 600)}{0,5 \times 4200} = 285081,83 \text{ N}$$

Cek kondisi :

**Kondisi geser 1 (Tidak perlu tulangan geser)**

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$$

$$285081,83 \text{ N} \leq 75072,22 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

**Kondisi geser 2 (Tulangan geser minimum)**

$$0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$$

$$75072,22 \text{ N} \leq 285081,83 \text{ N} \leq 150144,45 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 3 (Tulangan geser minimum)**

$$\phi \times Vc \leq Vu \leq \phi (Vc + Vs \min)$$

$$150144,45 \text{ N} \leq 285081,83 \text{ N} \leq 203894,45 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 4 (Perlu tulangan geser)**

$$\phi (Vc + Vs \min) \leq Vu \leq \phi (Vc + \frac{1}{3} \sqrt{fc'} \cdot bw \cdot d)$$

$$203894,45 \text{ N} \leq 285081,83 \text{ N} \leq 444545,32 \text{ N}$$

**(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4

$$V_s \text{ perlu} = \frac{Vu - \phi V_c}{\phi} = \frac{285081,83 \text{ N} - 0,75 \times 200192,59 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 84889,23 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser  $\emptyset 10 \text{ mm}$  dengan 2 kaki,  
maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu

$$S \text{ perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 537,5 \text{ mm}}{84889,23 \text{ N}}$$

$$= 238,7 \text{ mm}$$

Dipakai jarak  $S = 120 \text{ mm}$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok induk: (SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.2)**

$$Spakai \leq \frac{d}{2}$$

$$120 \text{ mm} \leq \frac{537,5 \text{ mm}}{2}$$

$$120 \text{ mm} \leq 268,75 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 8 D \text{ tul. longitudinal}$$

$$120 \text{ mm} \leq 8 \times 25 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 24 \emptyset \text{ sengkang}$$

$$120 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 300$$

$$120 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$



Kesimpulan :

Tulangan geser pada daerah lapangan (2) dipakai tulangan sebesar : Ø10-120 mm

- **Perhitungan Panjang Penyaluran**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12**.

- ✓ **Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2** Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]**

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut

**Tabel 4. 5 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir**

	Batang tulangan atau kawat ulir ≤ D-19	Batang tulangan ≥ D- 22
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $l_d$ tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$
Kasus-kasus lain	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$

Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\psi_e$  = faktor pelapis

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan = 1 (beton normal)

### Perhitungan

$$\lambda_d = [f_y \Psi_t \psi_e / 1,7 \lambda \sqrt{f_c'}] d_b \\ = [400 \times 1 \times 1,5 / 1,7 \times 1 \sqrt{30}] 25 = 1610,95 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

1610,95 mm > 300 mm (memenuhi)

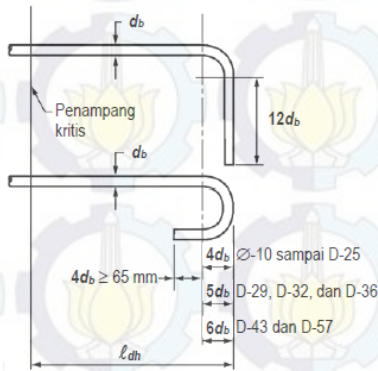
Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pasang} \times \lambda_d \\ = 5117,73 / 5399,61 \times 1610,95 \\ = 1426,85 \text{ mm} \approx 1600 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik sebesar 1600 mm

- ✓ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik  
 Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh lebih dari 150 mm. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.





Gambar 4. 35 Detail tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

$$\lambda_{dh} = (0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'}) x db$$

$$\lambda_{dh} = (0,24 x 1 x 400 / 1 x \sqrt{30}) x 25$$

$$\lambda_{dh} = 438,18 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

$$438,18 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pasang} x \lambda_{dh}$$

$$= 5117,73 / 5399,61 x 438,18$$

$$= 415,3 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 450 mm.

Panjang kait  $12d_b = 12(25) = 300 \text{ mm}$

✓ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Peyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm. [SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\lambda_{dc} = (0,24 f_y / \lambda \sqrt{f_c'}) db$$

$$= (0,24 x 400 / 1 \sqrt{30}) x 25 = 438,18 \text{ mm}$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 f_y) db = (0,043 x 400) x 25 = 430 \text{ mm}$$

Diambil 438,18 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

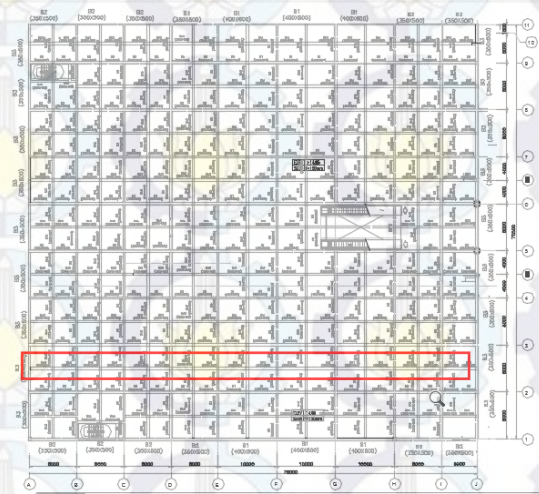
$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= A_{s' \text{ perlu}} / A_{s' \text{ pasang}} \times \lambda_d \\ &= 1619,88 / 1963,5 \times 438,18 \\ &= 361,49 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang kait

$$4db + 4db = 4(25) + 4(25) = 200 \text{ mm}$$

#### 4.2.4.2 Perhitungan Balok Anak (BA1)

a. Data perencanaan ;



Gambar 4. 38 Denah Pembalokan

Perhitungan tulangan balok induk : **BA1 (35/50)** As 6 (E-H) elevasi  $\pm 15,00$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah balok, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok induk dengan metode SRPMM adalah sebagai berikut:

Data-data perencanaan tulangan balok :

Tipe balok = BA1

As balok = 4' (E-E')



Bentang balok	= 5 m
b	= 35 cm
h	= 50 cm
Mutu beton	= 30 Mpa
Mutu baja lentur	= 400 Mpa
Mutu baja geser	= 240 Mpa
Mutu baja puntir	= 400 Mpa
D tul. Lentur	= 22 mm
D tul. Geser	= 10 mm
D tul. Puntir	= 22 mm
Jarak antar tulangan	= 25 mm

**(SNI 2847-2013, pasal 7.6.1)**

Decking	= 40 mm
---------	---------

**(SNI 2847-2013, pasal 7.7.1 c)**

Faktor $\beta_1$	= 0,85
------------------	--------

**(SNI 2847-2013, pasal 10.2.7)**

Faktor reduksi lentur	= 0,9
-----------------------	-------

**(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)**

Faktor reduksi geser	= 0,75
----------------------	--------

**(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)**

Faktor reduksi puntir	= 0,75
-----------------------	--------

**(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)**

Perhitungan tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tul.lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 22 \text{ mm} \\ &= 439 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= h - d \\ &= 600 \text{ mm} - 439 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil output dari program SAP :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya

dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa:

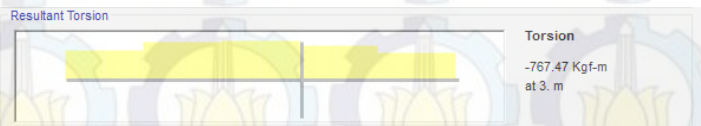
1.  $U = 1,4 D$
2.  $U = 1,2 D + 1,6 L$
3.  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4.  $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebanan gempa:

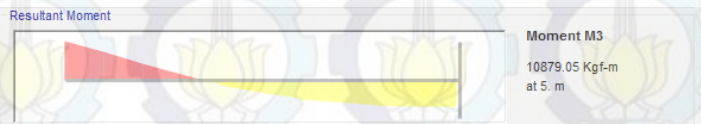
1.  $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
2.  $U = 0,9 D + 1,0 E$

Untuk perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi  $1,2 D + 1,0 E_x + 0,3 E_y$  adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

a. Momen puntir = -7674700 Nmm  
 Kombinasi =  $0,9D + 0,3E_x + 1E_y$

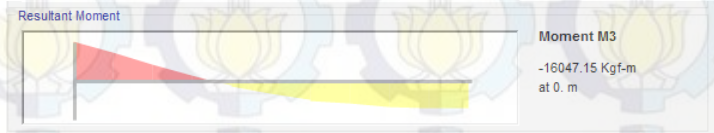


b. Momen lentur  
 -Momen Lapangan = -108790500 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$

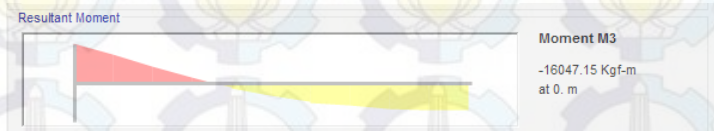




-Momen tump. kanan = 160471500 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$



-Momen tump. kiri = 160471500 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$



c. Gaya geser

-Gaya geser tumpuan = -94922,3 N  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$



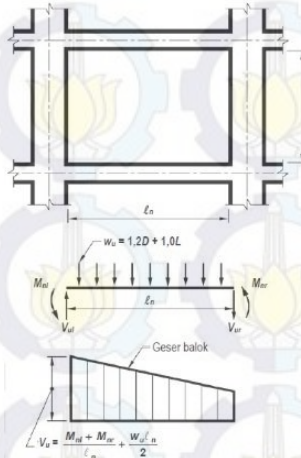
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 cm dari as kolom.

### Syarat Gaya Aksial pada Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3 (2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$A_g x f_c' / 10 = 350 x 500 x 30 / 10 = 525000 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D + 1,6L + 0,5R$  pada komponen struktur sebesar  $11301,72 \text{ N} < 525000 \text{ N}$



Gambar 4. 39 Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).**

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur, dan puntir :

Luasan yang dibatasi luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \text{ balok} \times h \text{ balok} \\ &= 350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} = 175000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b \text{ balok} + h \text{ balok}) \\ &= 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\ &= 1700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi As luasan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ balok} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{Øgeser}) \times (h \text{ balok} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{Øgeser}) \\ &= (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) \\ &\quad \times (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) \\ &= 100000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned} \text{Poh} &= 2 \times [(b \text{ balok} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{Øgeser}) + (h \text{ balok} \\ &\quad - 2 \times \text{decking} - 2 \times \text{Øgeser})] \\ &= 2 \times [(350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) + \\ &\quad (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm})] \\ &= 1300 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Perhitungan Tulangan Puntir**

$$\text{Momen puntir (Tu)} = 7674700 \text{ Nmm}$$

$$\text{Kombinasi} = 0,9D + 0,3Ex + 1Ey$$

Momen puntir nominal (Tn)

$$Tn \geq \frac{Tu}{\phi} = \frac{7674700 \text{ Nmm}}{0,75} = 10232933,33 \text{ Nmm}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.5)**

Pengaruh puntir dapat diabaikan apabila Tu besarnya kurang dari beberapa kondisi yaitu :

$$Tu \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

**(SNI 2847-2013, pasal 11.5.1)**

$$\begin{aligned} &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times \left( \frac{(175000 \text{ mm})^2}{1700 \text{ mm}^2} \right) \\ &= 6142245,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Tu \text{ max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$\begin{aligned} &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times \left( \frac{(175000 \text{ mm})^2}{1700 \text{ mm}^2} \right) \\ &= 24420975,43 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tu < Tu min maka tulangan puntir diabaikan

Tu > Tu min maka memerlukan tulangan puntir

Cek momen puntir :

$$Tu = 7674700 \text{ Nmm} > Tu \text{ min} = 6142245,3 \text{ Nmm}$$

Maka memerlukan tulangan puntir

Tulangan puntir untuk lentur :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)

$$\frac{At}{s} = \frac{10232933,33 \text{ Nmm}}{2 \times 100000 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times 1}$$

$$\frac{At}{s} = 0,13 \text{ mm}$$

$$Al = \frac{At}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7)

$$Al = 0,13 \times 1300 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times 1^2$$

$$= 166,29 \text{ mm}^2$$

Tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$0,13 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 350 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$0,13 \text{ mm} \geq 0,153 \text{ mm}$$

Maka nilai  $At/s$  yang diambil = 0,13 mm

Cek nilai  $Al$  min dengan persamaan :

$$Al \text{ min} = \frac{0,42 \times \sqrt{f_{ci}} \times A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{At}{s} \right) \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ Mpa} \times 175000 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}}$$

$$- 0,13 \text{ mm} \times 1300 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$= 840,16 \text{ mm}^2$$

$Al \text{ perlu} > Al \text{ min}$

$$166,29 \text{ mm}^2 < 840,16 \text{ mm}^2$$

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$  menggunakan  $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$  menggunakan  $Al \text{ perlu}$

Digunakan  $Al \text{ min} = 840,16 \text{ mm}^2$



Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok sehingga :

$$\frac{A_l}{4} = \frac{840,16 \text{ mm}^2}{4} = 210,04 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Pada sisi atas disalurkan pada tulangan tarik balok
- Pada sisi bawah disalurkan pada tulangan tekan balok
- Pada samping balok mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar  $0,5A_l$ , sehingga  $A_l$  pada sisi samping balok :

$$= 0,5 A_l + A_s \text{ pasang}$$

$$= (0,5 \times 840,16 \text{ mm}^2) + 840,16 \text{ mm}^2 = 1260 \text{ mm}^2$$

D asumsi : 22 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan puntir :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_l}{\text{Luas tulangan}} \\ &= \frac{1260 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} \\ &= 3,32 = 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

$A_l$  pasang =  $n \times$  luasan D puntir

$$= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_l$  pasang >  $A_l$  perlu

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1260 \text{ mm}^2$$

Sehingga tulangan puntir di tumpuan kanan, kiri, dan lapangan dipasang sebesar : 4 D22

### Perhitungan Tulangan Lentur

Garis netral kondisi balance

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 263,4 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\max} = 0,75 \times Xb = 197,55 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\min} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis netral rencana

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm (asumsi)}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm}$$

$$= 758625 \text{ N}$$

Luasan tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y}$$

$$= 1896,56 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 1896,56 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times$$

$$\left( 439 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 100 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$= 300794812,5 \text{ Nmm}$$



- **Daerah Tumpuan Kanan**

$$Mu = 160471500 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{160471500 \text{ Nmm}}{0,9} = 178301666,7 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 178301666,7 \text{ Nmm} - 300794812,5 \text{ Nmm}$$

$$= -122493145,8 \text{ Nmm} < 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{178301666,7 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (439 \text{ mm})^2} = 2,643$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y}\right)}{f_y}$$

(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}}\right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,643}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,00699$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00699 < 0,0244 \quad (\text{Ok})$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0069 \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 1074,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas balok

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + A_l/4$$

$$= 1074,3 \text{ mm}^2 + 210,04 \text{ mm}^2$$

$$= 1284,34 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1284,34 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 3,3$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 4 buah

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \text{luas lentur}$$

$$= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 1520,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1284,34 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah balok (bottom)

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)**

$$A_{s'} = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$= 456,16 \text{ mm}^2$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D22

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$A_s = \frac{1}{4} \pi D^2$$



$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan (bawah)

$$n = \frac{Asl}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{456,16 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 1,2$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 2 buah

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$760,27 \text{ mm}^2 > 456,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm}$ , 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm}$ , lebih dari 1 lapis

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} Smaks &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi_{geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 4x 22 \text{ mm}}{4-1} \\ &= 54 \text{ mm} \quad Smaks \geq Ssejajar \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan :

$$\begin{aligned} Smaks &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi_{geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 2x 22 \text{ mm}}{2-1} \\ &= 206 \text{ mm} \quad Smaks \geq Ssejajar \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**  
 boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif

balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

$$A_s \text{ pasang} = 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (4 D22)}$$

$$A_s' \text{ pasang} = 760,27 \text{ mm}^2 \text{ (2 D22)}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 506,84 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Kontrol kemampuan lapangan :

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik} = 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (4 D22)}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} = 68,15 \text{ mm}^2$$

$$C_c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$= 0,85 \times 350 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 68,15 \text{ mm}^2$$

$$= 608238,75 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$= 1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 608212,34 \text{ N}$$

$$M_n = \left( C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s' \times d - d' \right)$$

$$= \left( 608238,75 \text{ N} \times \left( 439 \text{ mm} - \frac{68,15 \text{ mm}^2}{2} \right) \right)$$

$$+ (608212,34 \text{ N} \times 439 \text{ mm} - 61 \text{ mm})$$

$$= 476185544,48 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$476185544,48 \text{ Nmm} > 178301666,67 \text{ Nmm (Ok)}$$

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah tumpuan kanan sebesar :



Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

- Daerah Tumpuan Kiri**

$$Mu = 160471500 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{160471500 \text{ Nmm}}{0,9} = 178301666,7 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 178301666,7 \text{ Nmm} - 300794812,5 \text{ Nmm}$$

$$= -122493145,8 \text{ Nmm} < 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{178301666,7 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (439 \text{ mm})^2} = 2,643$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

*(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)*

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,643}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,00699$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00699 < 0,0244 \quad (\text{Ok})$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0069 \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 1074,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas balok

$$A_s \text{ perlu} = A_s + A_l/4$$

$$= 1074,3 \text{ mm}^2 + 210,04 \text{ mm}^2$$

$$= 1284,34 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1284,34 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 3,3$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 4 buah

$$A_s \text{ pasang} = n \times \text{luasan lentur}$$

$$= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 1520,53 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1284,34 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah balok (bottom)

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)**

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$= 456,16 \text{ mm}^2$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D22



Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan (bawah)

$$n = \frac{A_{s'}'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{456,16 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 1,2$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 2 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 760,27 \text{ mm}^2 &> 456,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, 1 \text{ lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, \text{ lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 4x 22 \text{ mm}}{4-1} \\ &= 54 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{400 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 2x 22 \text{ mm}}{2-1} \\ &= 206 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada balok untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ \text{(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)}$$

$$As_{\text{pasang}} = 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (4 D22)}$$

$$As'_{\text{pasang}} = 760,27 \text{ mm}^2 \text{ (2 D22)}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 506,84 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Kontrol kemampuan lapangan :

$$As_{\text{pakai tulangan tarik}} = 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (4 D22)}$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\ = 68,15 \text{ mm}^2$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ = 0,85 \times 350 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 68,15 \text{ mm}^2 \\ = 608238,75 \text{ N}$$

$$Cs' = As_{\text{pakai}} \times f_y \\ = 1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 608212,34 \text{ N}$$

$$M_n = \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( Cs' \times d - d' \right) \\ = \left( 608238,75 \text{ N} \times \left( 439 \text{ mm} - \frac{68,15 \text{ mm}^2}{2} \right) \right) \\ + (608212,34 \text{ N} \times 439 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) \\ = 476185544,48 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n_{\text{pasang}} > M_n_{\text{perlu}}$$

$$476185544,48 \text{ Nmm} > 178301666,67 \text{ Nmm (Ok)}$$

Kesimpulan :



Dipasang tulangan lentur pada daerah tumpuan kanan sebesar :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

- **Daerah Lapangan**

$$M_u = 108790500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{108790500 \text{ Nmm}}{0,9} = 120878333,3 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 120878333,3 \text{ Nmm} - 300794812,5 \text{ Nmm}$$

$$= -179916479,2 \text{ Nmm} < 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{120878333,3 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times (439 \text{ mm})^2} = 1,792$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'}}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,792}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,0046$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0046 < 0,0244 \quad (\text{Ok})$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0046 \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 714,43 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas balok

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + A_l/4$$

$$= 714,43 \text{ mm}^2 + 210,04 \text{ mm}^2$$

$$= 924,47 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{924,47 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 2,43$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 3 buah

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \text{luas lentur}$$

$$= 3 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 1140,4 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$1140,4 \text{ mm}^2 > 924,47 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah balok (bottom)

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)**

$$A_{s'} = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 1140,4 \text{ mm}^2$$

$$= 342,12 \text{ mm}^2$$



Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D22

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan( bawah)

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{342,12 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 0,9$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 2 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$760,27 \text{ mm}^2 > 342,12 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$ , 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$ , lebih dari 1 lapis

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 3x 22 \text{ mm}}{3-1} \\ &= 92 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{350 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 2x 22 \text{ mm}}{2-1} \\ &= 206 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada balok untuk daerah lapangan :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 3 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ \text{(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)}$$

$$A_s \text{ pasang} = 1140,4 \text{ mm}^2 \text{ (3 D22)}$$

$$A_s' \text{ pasang} = 760,27 \text{ mm}^2 \text{ (2 D22)}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 380,13 \text{ mm}^2 \text{ (Ok)}$$

Kontrol kemampuan lapangan :

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik} = 1140,4 \text{ mm}^2 \text{ (3 D22)}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1140,4 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} \\ = 51,11 \text{ mm}^2$$

$$C_c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ = 0,85 \times 350 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 51,11 \text{ mm}^2 \\ = 521324,86 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s \text{ pakai} \times f_y \\ = 1140,4 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 456159,25 \text{ N}$$

$$M_n = \left( C_c' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( C_s' \times d - d' \right) \\ = \left( 521324,86 \text{ N} \times \left( 439 \text{ mm} - \frac{51,11 \text{ mm}^2}{2} \right) \right) \\ + \left( 456159,25 \text{ N} \times 439 \text{ mm} - 61 \text{ mm} \right) \\ = 387967281,76 \text{ Nmm}$$

Syarat :

$$M_n \text{ pasang} > M_n \text{ perlu}$$

$$387967281,76 \text{ Nmm} > 120878333,3 \text{ Nmm} \text{ (Ok)}$$

Kesimpulan :



Dipasang tulangan lentur pada daerah lapangan sebesar :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 3 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

### • Perhitungan Tulangan Geser

Dari perhitungan lentur didapatkan :

c. Tumpuan kanan

As pakai tulangan tarik = 1520,53 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan= 760,27 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul. tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{760,27 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} = 20,44$$

$$\begin{aligned} MnR &= As \text{ tul. tarik} \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \times 350 \text{ Mpa} \times (439 \text{ mm} - 20,44/2) \\ &= 156472821,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

d. Tumpuan kiri

As pakai tulangan tarik = 1520,53 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan= 760,27 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{As \text{ tul. tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{760,27 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 350 \text{ mm}} = 20,44$$

$$\begin{aligned} MnL &= As \text{ tul. tarik} \times f_y \times (d-a/2) \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \times 350 \text{ Mpa} \times (439 \text{ mm} - 20,44/2) \\ &= 156472821,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Berdasar hasil output SAP didapatkan gaya geser terfaktor sebesar :

$$Vu = -94922,3 \text{ N}$$

Gaya geser diujung perletakan diperoleh dari :

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + \frac{Wu \times ln}{2}$$

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{ln} + Vu$$

$$Vu1 = \frac{156472821,4 \text{ Nmm} + 156472821,4 \text{ Nmm}}{4200 \text{ mm}} + 94922,3 \text{ N}$$

$$= 167700,4 \text{ N}$$

**(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.3.1)**

Syarat kuat tekan beton ( $f_c'$ )

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,48 < 8,3 \text{ Mpa} \quad (\text{Ok})$$

**(SNI 2847-2013, Pasal 11.1.2)**

Kuat geser beton dengan  $\lambda = 1$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 143067,87 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 51216,67 \text{ N}$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm}$$

$$= 561050,47 \text{ N}$$

Wilayah pembagian geser balok :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak 2 kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah. bentang. **(SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)**
2. Wilayah 2 (daerah lapangan), mulai dari wilayah 1 atau 3 sampai setengah bentang balok.

- Penulangan Geser Balok

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$Vu1 = 167700,4 \text{ N}$$



Cek kondisi :

**Kondisi geser 1 (Tidak perlu tulangan geser)**

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$$

$$167700,4 \text{ N} \leq 53650,45 \text{ N (Tidak Memenuhi)}$$

**Kondisi geser 2 (Tulangan geser minimum)**

$$0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$$

$$53650,45 \text{ N} \leq 167700,4 \text{ N} \leq 107300,9 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 3 (Tulangan geser minimum)**

$$\phi \times Vc \leq Vu \leq \phi (Vc + Vs \min)$$

$$107300,9 \text{ N} \leq 167700,4 \text{ N} \leq 145713,4 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 4 (Perlu tulangan geser)**

$$\phi (Vc + Vs \min) \leq Vu \leq \phi (Vc + \frac{1}{3} \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot d)$$

$$145713,4 \text{ N} \leq 167700,4 \text{ N} \leq 317694,83 \text{ N}$$

**(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} = \frac{167700,4 \text{ N} - 0,75 \times 143067,87 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 60399,45 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu

$$S \text{ perlu} = \frac{Av \times fy \times d}{Vs \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 439 \text{ mm}}{60399,45 \text{ N}}$$

$$= 274,01 \text{ mm}$$

Dipakai jarak  $S = 100 \text{ mm}$

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok:** Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 cm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi : *(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.2)*

$$Spakai \leq \frac{d}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq \frac{439 \text{ mm}}{4}$$

$$100 \text{ mm} \leq 109,75 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 8 D \text{ tul. longitudinal}$$

$$100 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 24 \emptyset \text{ sengkang}$$

$$100 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 300$$

$$100 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kesimpulan :

Tulangan geser pada daerah tumpuan 1 dan 3 dipakai tulangan sebesar :  $\emptyset 10\text{-}100 \text{ mm}$

## 2. Wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :



$$\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{60399,45 \text{ N} \times (0,5 \times 4200 - 2 \times 500)}{0,5 \times 4200} = 89700,19 \text{ N}$$

Cek kondisi :

**Kondisi geser 1 (Tidak perlu tulangan geser)**

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$$

$$89700,19 \text{ N} \leq 53650,45 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

**Kondisi geser 2 (Tulangan geser minimum)**

$$0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$$

$$53650,45 \text{ N} \leq 89700,19 \text{ N} \leq 107300,9 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 2

$$Vs \text{ perlu} = Vs \text{ min}$$

$$= 51216,67 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$Av = 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$= 0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu

$$S \text{ perlu} = \frac{Av \times fy \times d}{Vs \text{ perlu}}$$

$$= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 439 \text{ mm}}{51216,67 \text{ N}}$$

$$= 323,14 \text{ mm}$$

Dipakai jarak S = 150 mm

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada balok induk:

Kontrol jarak spasi tulangan geser  
(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.2)

$$Spakai \leq \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} \leq \frac{439 \text{ mm}}{2}$$

$$150 \text{ mm} \leq 219,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 8 D \text{ tul. longitudinal}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 24 \emptyset \text{ sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 300$$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kesimpulan :

Tulangan geser pada daerah lapangan (2) dipakai tulangan sebesar : Ø10-150 mm

### • Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

#### ✓ Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2** Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi



tarik tidak boleh kurang dari 300 mm. [SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1] Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2 sebagai berikut

Tabel 4. 6 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

	Batang tulangan atau kawat ulir $\leq$ D-19	Batang tulangan $\geq$ D-22
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $l_d$ tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$
Kasus-kasus lain	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,4 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b$

Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\psi_e$  = faktor pelapis

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan = 1 (beton normal)

#### Perhitungan

$$\lambda_d = [f_y \Psi_t \psi_e / 1,7 \lambda \sqrt{f'_c}] d_b$$

$$= [400 \times 1 \times 1,5 / 1,7 \times 1 \sqrt{30}] 22 = 1417,63 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

1417,63 mm > 300 mm (memenuhi)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pasang} \times \lambda_d$$

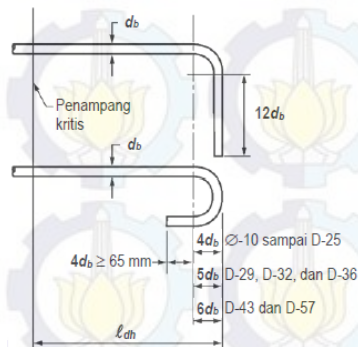
$$= 1284,34 / 1520,53 \times 1417,63$$

$$= 1197,42 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik sebesar 1200 mm

- ✓ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik  
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm. [**SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1**] Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 Untuk batang tulangan ulir  $\lambda d$  harus sebesar  $(0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f'_c}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 35 Detail tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

$$\lambda_{dh} = (0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f'_c}) \times d_b$$

$$\lambda_{dh} = (0,24 \times 1 \times 400 / 1 \times \sqrt{30}) \times 22$$

$$\lambda_{dh} = 385,59 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat : } \lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$$

$$385,59 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pasang} \times \lambda_{dh}$$

$$= 1284,34 / 1520,53 \times 385,59$$

$$= 325,69 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 350 mm.



Panjang kait

$$12db = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

- ✓ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan  
Peyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm. [**SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1**]. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\lambda_{dc} = (0,24 f_y / \lambda \sqrt{f'_c}) db$$

$$= (0,24 \times 400 / 1\sqrt{30}) \times 22 = 385,59 \text{ mm}$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 f_y) db = (0,043 \times 400) \times 22 = 378,4 \text{ mm}$$

Diambil 385,59 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = A_s' \text{ perlu} / A_s' \text{ pasang} \times \lambda_d$$

$$= 456,16 / 760,27 \times 385,59$$

$$= 231,35 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

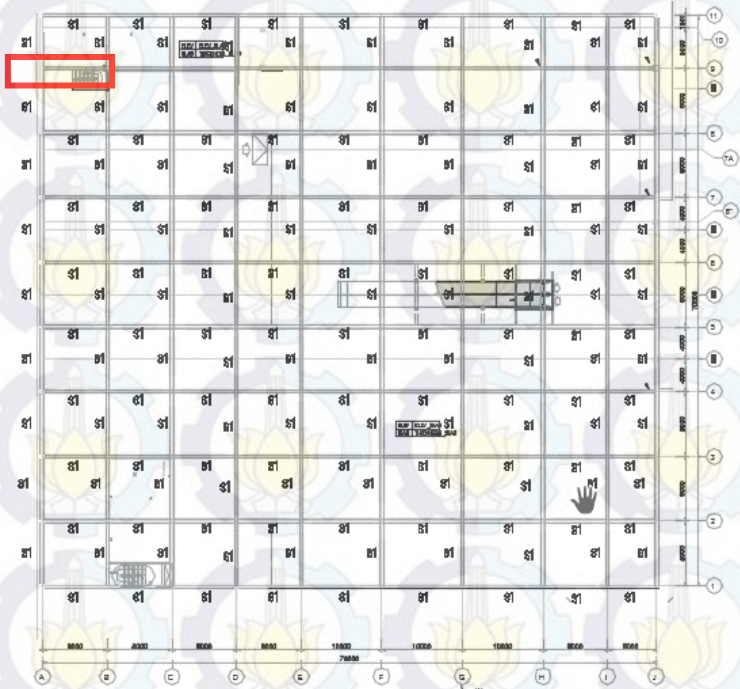
Panjang kait

$$4db + 4db = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm}$$

#### 4.2.4.3 Perhitungan Balok Sloof (S1)

a. Data perencanaan :

Perhitungan tulangan balok sloof : **S1 (45/65)** As 9 (A-B) elevasi  $\pm 0,00$ . Berikut data-data perencanaan sloof, gambar denah sloof, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok sloof dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang sloof adalah sebagai berikut:



*Gambar 4. 40 Denah Sloof*

Data-data perencanaan tulangan sloof :

Tipe sloof	= S1
As sloof	= 9 (A-B)
Bentang sloof	= 8 m
b	= 45 cm
h	= 65 cm
Mutu beton	= 30 Mpa
Mutu baja lentur	= 400 Mpa
Mutu baja geser	= 240 Mpa
Mutu baja puntir	= 400 Mpa
D tul. Lentur	= 22 mm



D tul. Geser = 10 mm

D tul. Puntir = 22 mm

Jarak antar tulangan = 25 mm

*(SNI 2847-2013, pasal 7.6.1)*

Decking = 40 mm

*(SNI 2847-2013, pasal 7.7.1 c)*

Faktor  $\beta_1$  = 0,85

*(SNI 2847-2013, pasal 10.2.7)*

Faktor reduksi lentur = 0,9

*(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)*

Faktor reduksi geser = 0,75

*(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)*

Faktor reduksi puntir = 0,75

*(SNI 2847-2013, pasal 9.3.2)*

Perhitungan tinggi efektif balok sloof :

$$d = h - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tul.lentur}$$

$$= 650 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 22 \text{ mm}$$

$$= 589 \text{ mm}$$

$$d' = h - d$$

$$= 650 \text{ mm} - 589 \text{ mm}$$

$$= 61 \text{ mm}$$

Hasil output dari program SAP :

Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu SAP 2000, maka didapatkan hasil output dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan sloof.

Adapun dalam pengambilan hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi pembebanan non-gempa:

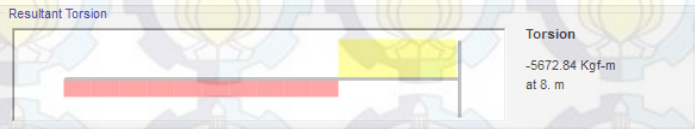
1.  $U = 1,4 D$
2.  $U = 1,2 D + 1,6 L$
3.  $U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$
4.  $U = 0,9 D + 1,0 W$

Kombinasi pembebanan gempa:

1.  $U = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 E$
2.  $U = 0,9 D + 1,0 E$

Untuk perhitungan tulangan sloof, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa. Kombinasi  $1,2 D + 1,0 L + 1,0 E_x + 0,3 E_y$  adalah kombinasi kritis dalam pemodelan.

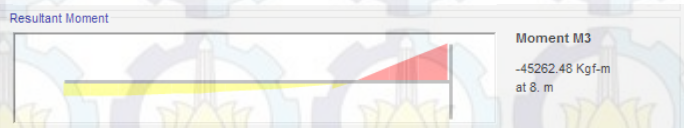
a. Momen puntir = -56728400 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$



b. Momen lentur  
 -Momen Lapangan = 108999200 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1,6L + 0,5R$

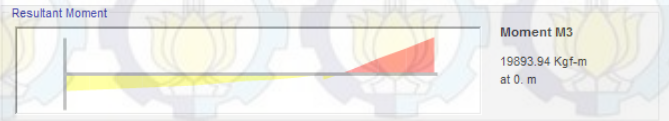


-Momen tump. kanan = -452624800 Nmm  
 Kombinasi =  $1,2D + 1E_x + 0,3E_y$



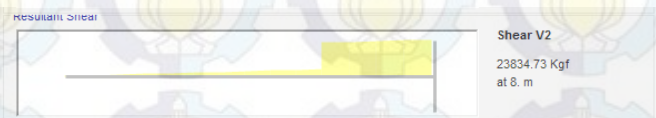


$$\begin{aligned}\text{-Momen tump. kiri} &= -198939400 \text{ Nmm} \\ \text{Kombinasi} &= 1,2D + 1Ex + 0,3Ey\end{aligned}$$



c. Gaya geser

$$\begin{aligned}\text{-Gaya geser tumpuan} &= 238347,3 \text{ N} \\ \text{Kombinasi} &= 1,2D + 1Ex + 0,3Ey\end{aligned}$$



Berdasarkan SNI 03-2847-2013 ps 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejauh 50 cm dari as kolom

### Syarat Gaya Aksial pada Balok Sloof

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3 (2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi

$$A_g x f_c' / 10 = 450 x 650 x 30 / 10 = 877500 \text{ N}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D + 1Ex + 0,3Ey$  pada komponen struktur sebesar  $267781,5 \text{ N} < 877500 \text{ N}$ .

***Berdasarkan SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3 mengenai Ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur, dan puntir :***

Luasan yang dibatasi luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned}A_{cp} &= b \text{ sloof} \times h \text{ sloof} \\ &= 450 \text{ mm} \times 650 \text{ mm} = 292500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton  $A_{cp}$

$$P_{cp} = 2 \times (b \text{ sloof} + h \text{ sloof})$$

$$= 2 \times (450 \text{ mm} + 650 \text{ mm}) \\ = 2200 \text{ mm}^2$$

Luas penampang dibatasi As luasan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b \text{ sloof} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \varnothing_{geser}) \times (h \text{ sloof} - \\ &\quad 2 \times \text{decking} - 2 \times \varnothing_{geser}) \\ &= (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) \\ &\quad \times (650 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) \\ &= 192500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi As tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b \text{ sloof} - 2 \times \text{decking} - 2 \times \varnothing_{geser}) + (h \text{ sloof} - \\ &\quad 2 \times \text{decking} - 2 \times \varnothing_{geser})] \\ &= 2 \times [(450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm}) + \\ &\quad (650 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 10 \text{ mm})] \\ &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Perhitungan Tulangan Puntir**

$$\text{Momen puntir (Tu)} = 56728400 \text{ Nmm}$$

$$\text{Kombinasi} = 1,2D + 1,6L + 0,5R$$

Momen puntir nominal (Tn)

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} = \frac{56728400 \text{ Nmm}}{0,75} = 75637866,67 \text{ Nmm}$$

**(SNI 2847-2013 Pasal 11.5.3.5)**

Pengaruh puntir dapat diabaikan apabila Tu besarnya kurang dari beberapa kondisi yaitu :

$$T_u \text{ min} = \varnothing 0,083 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

**(SNI 2847-2013, pasal 11.5.1)**

$$= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times \left( \frac{(292500 \text{ mm})^2}{2200 \text{ mm}^2} \right)$$

$$= 13259557,9 \text{ Nmm}$$

$$T_u \text{ max} = \varnothing 0,33 \lambda \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times \left( \frac{(292500 \text{ mm})^2}{2200 \text{ mm}^2} \right)$$

$$= 52718724,07 \text{ Nmm}$$



$T_u < T_{u \text{ min}}$  maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u \text{ min}}$  maka memerlukan tulangan puntir

Cek momen puntir :

$T_u = 56728400 \text{ Nmm} > T_{u \text{ min}} = 13259557,9 \text{ Nmm}$

Maka memerlukan tulangan puntir

Tulangan puntir untuk lentur :

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \theta}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{75637866,67 \text{ Nmm}}{2 \times 192500 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times 1}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,49 \text{ mm}$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph \times \left( \frac{F_{yt}}{F_y} \right) \times \cot^2 \theta$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.3.7)

$$A_l = 0,49 \times 1800 \text{ mm} \times \left( \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \times 1^2$$

$$= 884,08 \text{ mm}^2$$

Tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times B_w}{F_{yt}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5.5.3)

$$0,49 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 450 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}}$$

$$0,49 \text{ mm} \geq 0,197 \text{ mm}$$

Maka nilai  $A_t/s$  yang diambil = 0,197 mm

Cek nilai  $A_l$  min dengan persamaan :

$$A_l \text{ min} = \frac{0,42 \times \sqrt{f_c'} \times A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \text{ Mpa} \times 292500 \text{ mm}^2}{400 \text{ Mpa}} \\
 &\quad - 0,197 \text{ mm} \times 1800 \text{ mm} \times \frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \\
 &= 1327,82 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Al perlu > Al min

$$884,08 \text{ mm}^2 < 1327,82 \text{ mm}^2$$

Al perlu  $\leq$  Al min menggunakan Al min

Al perlu  $\geq$  Al min menggunakan Al perlu

Digunakan Al min = 1327,82 mm<sup>2</sup>

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang sloof sehingga :

$$\frac{Al}{4} = \frac{1327,82 \text{ mm}^2}{4} = 331,95 \text{ mm}^2$$

Penyebaran pada penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya :

- Pada sisi atas disalurkan pada tulangan tarik sloof
- Pada sisi bawah disalurkan pada tulangan tekan sloof

Untuk disamping sloof mendapatkan tambahan luasan tulangan puntir sebesar 0,5Al, sehingga Al pada sisi samping balok :

$$= 0,5 \text{ Al} + A_s \text{ pasang}$$

$$= (0,5 \times 1327,82 \text{ mm}^2) + 1327,82 \text{ mm}^2 = 1992 \text{ mm}^2$$

D asumsi : 22 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan puntir :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Al}{\text{Luas tulangan}} \\
 &= \frac{1992 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 5,24 = 6 \text{ buah}$$

Al pasang = n x luasan D puntir



$$= 6 \times 380,13 \text{ mm}^2 = 2280,8 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

Al pasang > Al perlu

$$2280,8 \text{ mm}^2 > 1992 \text{ mm}^2$$

Sehingga tulangan puntir di tumpuan kanan, kiri, dan lapangan dipasang sebesar : 6 D22

### **Perhitungan Tulangan Lentur**

Garis netral kondisi balanced

$$Xb = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$Xb = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \times 589 \text{ mm}$$

$$= 353,40 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$X_{\text{max}} = 0,75 \times Xb = 265,05 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{\text{min}} = d' = 61 \text{ mm}$$

Garis netral rencana

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm (asumsi)}$$

Komponen beton tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}$$

$$= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 100 \text{ mm}$$

$$= 975375 \text{ N}$$

Luasan tulangan lentur gaya tarik tulangan lentur tunggal

$$A_{sc} = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{f_y}$$

$$= 2438,44 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times \left( d - \frac{\beta_1 \times X_{\text{rencana}}}{2} \right)$$

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= 2438,44 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times \\
 &\quad \left( 589 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 100 \text{ mm}}{2} \right) \\
 &= 533042437,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

• **Daerah Tumpuan Kanan**

$$M_u = 452624800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{452624800 \text{ Nmm}}{0,9} = 502916444,4 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$M_{ns} > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 502916444,4 \text{ Nmm} - 533042437,5 \text{ Nmm} \\
 &= -305419215,3 \text{ Nmm} < 0
 \end{aligned}$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{502916444,4 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (589 \text{ mm})^2} = 2,929$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'}}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$



$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 2,929}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,0078$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0078 < 0,0244 \quad (\text{Ok})$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0078 \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm}$$

$$= 2066,99 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas sloof

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + A_l/4$$

$$= 2066,99 \text{ mm}^2 + 331,95 \text{ mm}^2$$

$$= 2398,94 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{2398,94 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 6,31$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 7 buah

$$A_{s \text{ pasang}} = n \times \text{luas lentur}$$

$$= 7 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 2660,93 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$2660,93 \text{ mm}^2 > 2398,94 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah sloof (bottom)

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$A_{s'} = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 2660,93 \text{ mm}^2 = 798,28 \text{ mm}^2$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D22

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan (bawah)

$$n = \frac{A_{st}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{798,28 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 2,10$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 3 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 3 \times 380,13 \text{ mm}^2 \\ &= 1140,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$1140,40 \text{ mm}^2 > 798,28 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$ , 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}$ , lebih dari 1 lapis

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi_{geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 7x 22 \text{ mm}}{7-1} \\ &= 32,67 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi_{geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 3x 22 \text{ mm}}{3-1} \\ &= 142 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada sloof untuk daerah tumpuan kanan :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 7 D22



Tulangan lentur tekan 1 lapis = 3 D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada sloof** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif sloof pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)

As pasang = 2660,93 mm<sup>2</sup> (7 D22)

As' pasang = 1140,4 mm<sup>2</sup> (3 D22)

M lentur tumpuan (+) ≥ 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$1140,4 \text{ mm}^2 \geq 886,98 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Kontrol kemampuan lapangan :

As pakai tulangan tarik = 2660,93 mm<sup>2</sup> (7 D22)

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{2660,93 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 450 \text{ mm}} \\ = 92,76 \text{ mm}^2$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$= 0,85 \times 400 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 92,76 \text{ mm}^2$$

$$= 1064371,59 \text{ N}$$

$$Cs' = As \text{ pakai} \times f_y$$

$$= 2660,93 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 1064371,59 \text{ N}$$

$$M_n = \left( Cc' \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left( Cs' \times d - d' \right)$$

$$= \left( 1064371,59 \text{ N} \times \left( 589 \text{ mm} - \frac{92,76 \text{ mm}^2}{2} \right) \right)$$

$$+ (1064371,59 \text{ N} \times 589 \text{ mm} - 61 \text{ mm}))$$

$$= 1139539804,28 \text{ Nmm}$$

Syarat :

Mn pasang > Mn perlu

$$1139539804,28 \text{ Nmm} > 502916444,4 \text{ Nmm (Ok)}$$

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah tumpuan kanan sebesar :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 7 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 3 D22

• **Daerah Tumpuan Kiri**

$$Mu = -198939400 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{-198939400 \text{ Nmm}}{0,9} = -221043777,8 \text{ Nmm}$$

Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

$Mns > 0$  = maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns < 0$  = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= -221043777,8 \text{ Nmm} - 533042437,5 \text{ Nmm}$$

$$= -311998659,7 \text{ Nmm} < 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{221043777,8 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (589 \text{ mm})^2} = 1,287$$

$$\rho b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y}$$

**(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)**

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right)$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho b = 0,0244$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$



$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,287}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

Syarat :

$\rho_{min} < \rho \text{ perlu} < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0033 < 0,0244$  (Tidak Ok)

$\rho < \rho_{min}$ , maka  $\rho = \rho \text{ perlu} \times 1,3$ , dan apabila masih kurang dari  $\rho \text{ min}$ , yang digunakan adalah  $\rho \text{ min}$ .

$\rho = 0,0033 \times 1,3 = 0,0043$

$A_s = \rho \times b \times d$

$= 0,0043 \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm}$

$= 1138,29 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan lentur  $= \frac{1}{4} \pi D^2$

$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$

$= 380,13 \text{ mm}^2$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas sloof

$A_s \text{ perlu} = A_s + A_l/4$

$= 1138,29 \text{ mm}^2 + 331,95 \text{ mm}^2$

$= 1470,25 \text{ mm}^2$

$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1470,25 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 3,86$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 4 buah

$A_s \text{ pasang} = n \times \text{luasan lentur}$

$= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2$

$= 1520,53 \text{ mm}^2$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1470,25 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah sloof (bottom)  
(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 1520,53 \text{ mm}^2 \\ &= 456,16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D22

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan (bawah)

$$n = \frac{A_s'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{456,16 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 1,2$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 2 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luas lentur} \\ &= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2 = 760,27 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\ 760,27 \text{ mm}^2 &> 456,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok}) \end{aligned}$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, 1 \text{ lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm}, \text{ lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 4x 22 \text{ mm}}{4-1} \\ &= 87,33 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tarik :



$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - 2x_{decking} - 2x \emptyset_{geser} - n x D_{lentur}}{n-1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 2x 22 \text{ mm}}{2-1} \\
 &= 306 \text{ mm} \quad S_{maks} \geq S_{sejajar} \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada sloof untuk daerah tumpuan kiri :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada sloof** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif sloof pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{lentur \text{ tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} x M_{lentur \text{ tumpuan (-)}} \quad (SNI 2847-2013, \text{ Pasal } 21.3.4.1)$$

$$As \text{ pasang} = 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (4 D22)}$$

$$As' \text{ pasang} = 760,27 \text{ mm}^2 \text{ (2 D22)}$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan (-)}}$$

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 506,84 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Kontrol kemampuan lapangan :

$$As \text{ pakai tulangan tarik} = 1520,53 \text{ mm}^2 \text{ (4 D22)}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As x f_y}{0,85 x f_c' x b} = \frac{1520,53 \text{ mm}^2 x 400 \text{ Mpa}}{0,85 x 30 \text{ Mpa} x 450 \text{ mm}} \\
 &= 53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 x b x f_c' x a$$

$$= 0,85 x 450 \text{ mm} x 30 \text{ Mpa} x 53 \text{ mm}^2$$

$$= 608175 \text{ N}$$

$$Cs' = As \text{ pakai} x f_y$$

$$= 1520,53 \text{ mm}^2 x 400 \text{ Mpa} = 608212,34 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left( Cc'x \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs'x d - d') \\
 &= \left( 608175 \text{ N} \times \left( 589 \text{ mm} - \frac{53 \text{ mm}^2}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (608212,34 \text{ N} \times 589 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) \\
 &= 663254564,79 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

M pasang > M n perlu

663254564,79 Nmm > 221043777,78 Nmm (Ok)

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah tumpuan kiri sebesar :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

#### • Daerah Lapangan

Mu = -108999200 Nmm

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{-108999200 \text{ Nmm}}{0,9} = -121110222,2 \text{ Nmm}$$

#### Cek momen tulangan lentur tekan

Syarat :

Mns > 0 = maka perlu tulangan lentur tekan

Mns < 0 = maka tidak perlu tulangan lentur tekan

Mns = Mn – Mnc

$$= -121110222,2 \text{ Nmm} - 533042437,5 \text{ Nmm}$$

$$= -411932215,3 \text{ Nmm} < 0$$

maka tidak perlu tulangan lentur tekan

#### Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{121110222,2 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (589 \text{ mm})^2} = 0,776$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847, Lampiran B.8.4.2)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$



$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,0244$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa}} = 15,69$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 0,776}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0,0020 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,002 < 0,0244 \quad (\text{Tidak Ok})$$

Karena  $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ , maka  $\rho_{\text{perlu}} \times 1,3 = 0,0026$

Maka digunakan  $\rho_{\min}$ .

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm} \\ &= 927,68 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan pasang :

Luasan tulangan tarik + luasan tambahan puntir longitudinal atas sloof

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= A_s + A_l/4 \\ &= 927,68 \text{ mm}^2 + 331,95 \text{ mm}^2 \\ &= 1259,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{1259,63 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 3,31$$

Jumlah tulangan tarik yang dipakai = 4 buah

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{luasan lentur} \\ &= 4 \times 380,13 \text{ mm}^2 = 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1520,53 \text{ mm}^2 > 1259,63 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Luasan tulangan perlu tekan + luasan tambahan puntir longitudinal bawah sloof (bottom)  
(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1)

$$As' = 0,3 \times As$$

$$= 0,3 \times 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$= 456,16 \text{ mm}^2$$

Tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah) = D22

Luasan tulangan lentur tekan (bawah)

$$As = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times (22 \text{ mm})^2$$

$$= 380,13 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan( bawah)

$$n = \frac{As'}{\text{Luas tulangan lentur}} = \frac{456,16 \text{ mm}^2}{380,13 \text{ mm}^2} = 1,2$$

Jumlah tulangan lentur tekan yang dipakai = 2 buah

As pasang = n x luasan lentur

$$= 2 \times 380,13 \text{ mm}^2$$

$$= 760,27 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$760,27 \text{ mm}^2 > 456,16 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Syarat jarak spasi antar tulangan

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm}$ , 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25\text{mm}$ , lebih dari 1 lapis

Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} Smaks &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \phi geser - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 4x 22 \text{ mm}}{4-1} \\ &= 87,33 \text{ mm} \quad Smaks \geq Ssejajar \text{ (ok)} \end{aligned}$$



Kontrol tulangan tarik :

$$\begin{aligned} Smaks &= \frac{b - 2x \text{ decking} - 2x \emptyset \text{ geser} - n \times D \text{ lentur}}{n-1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - 2x 40 \text{ mm} - 2x 10 \text{ mm} - 2x 22 \text{ mm}}{2-1} \\ &= 306 \text{ mm } Smaks \geq Ssejajar \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur pada sloof untuk daerah lapangan :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada sloof** boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif sloof pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}} \\ \text{(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.1)}$$

As pasang = 1520,53 mm<sup>2</sup> (4 D22)

As' pasang = 760,27 mm<sup>2</sup> (2 D22)

M lentur tumpuan (+) ≥ 1/3 M lentur tumpuan (-)

$$760,27 \text{ mm}^2 \geq 506,84 \text{ mm}^2 \quad (\text{Ok})$$

Kontrol kemampuan lapangan :

As pakai tulangan tarik = 1520,53 mm<sup>2</sup> (4 D22)

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 450 \text{ mm}} \\ &= 53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa} \times 53 \text{ mm}^2 \\ &= 540633,19 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As \text{ pakai} \times f_y \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} = 608212,34 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \left( C c' x \left( d - \frac{a}{2} \right) \right) + (C s' x d - d') \\
 &= \left( 540633,19 \text{ N} \times \left( 589 \text{ mm} - \frac{53 \text{ mm}^2}{2} \right) \right) \\
 &\quad + (608212,34 \text{ N} \times 589 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) \\
 &= 625241403,63 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

Mn pasang > Mn perlu

625241403,63 Nmm > 121110222 Nmm (Ok)

Kesimpulan :

Dipasang tulangan lentur pada daerah lapangan :

Tulangan lentur tarik 1 lapis = 4 D22

Tulangan lentur tekan 1 lapis = 2 D22

#### • Perhitungan Tulangan Geser

Dari perhitungan lentur didapatkan :

a. Tumpuan kanan

As pakai tulangan tarik = 2660,93 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan = 1140,4 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{\text{As tul. tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1140,4 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 450 \text{ mm}} = 23,85$$

$$\begin{aligned}
 M_nR &= \text{As tul. tarik} \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 2660,93 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times (589 \text{ mm} - 23,85/2) \\
 &= 368532874 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

b. Tumpuan kiri

As pakai tulangan tarik = 1520,53 mm<sup>2</sup>

As pakai tulangan tekan = 760,27 mm<sup>2</sup>

$$a = \frac{\text{As tul. tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{760,27 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ Mpa} \times 450 \text{ mm}} = 15,90$$

$$\begin{aligned}
 M_nL &= \text{As tul. tarik} \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 1520,53 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ Mpa} \times (589 \text{ mm} - 15,9/2) \\
 &= 212040889,2 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$



Berdasar hasil output SAP didapatkan gaya geser terfaktor sebesar :

$$V_u = -238347,3 \text{ N}$$

Gaya geser diujung perletakan diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

$$V_{u1} = \frac{368532874 \text{ Nmm} + 212040889,2 \text{ Nmm}}{7200 \text{ mm}} + 238347,3 \text{ N}$$

$$= 320118,3 \text{ N}$$

*(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.3.1)*

Syarat kuat tekan beton ( $f_c'$ )

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5,48 < 8,3 \text{ Mpa} \quad (\text{Ok})$$

*(SNI 2847-2013, Pasal 11.1.2)*

Kuat geser beton dengan  $\lambda = 1$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm}$$

$$= 246795,57 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm}$$

$$= 88350 \text{ N}$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{30 \text{ Mpa}} \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm}$$

$$= 967825,76 \text{ N}$$

Wilayah pembagian geser sloof :

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarah 2 kali tinggi sloof dari muka kolom ke arah tengah bentang. (*SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2*)
2. Wilayah 2 (daerah lapangan), mulai dari wilayah 1 atau 3 sampai setengah bentang sloof

- Penulangan Geser Sloof

1. Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$Vu1 = 320118,25 \text{ N}$$

Cek kondisi :

**Kondisi geser 1 (Tidak perlu tulangan geser)**

$$Vu \leq 0,5 \times \phi \times Vc$$

$$320118,25 \text{ N} \leq 92548,34 \text{ N} \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

**Kondisi geser 2 (Tulangan geser minimum)**

$$0,5 \times \phi \times Vc \leq Vu \leq \phi \times Vc$$

$$92548,34 \text{ N} \leq 320118,25 \text{ N} \leq 185096,68 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 3 (Tulangan geser minimum)**

$$\phi \times Vc \leq Vu \leq \phi (Vc + Vs \min)$$

$$185096,68 \text{ N} \leq 320118,25 \text{ N} \leq 251359,18 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 4 (Perlu tulangan geser)**

$$\phi (Vc + Vs \min) \leq Vu \leq \phi \left( Vc + \frac{1}{3} \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d \right)$$

$$251359,18 \text{ N} \leq 320118,25 \text{ N} \leq 548031,34 \text{ N}$$

**(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4

$$Vs \text{ perlu} = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} = \frac{251359,18 \text{ N} - 0,75 \times 246795,57 \text{ N}}{0,75}$$

$$= 73322,68 \text{ N}$$



Direncanakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 589 \text{ mm}}{73322,68 \text{ N}} \\ &= 302,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai jarak  $S = 120 \text{ mm}$

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada sloof**

: Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan. Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi : (*SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.2*)

$$\begin{aligned} Spakai &\leq \frac{d}{4} \\ 120 \text{ mm} &\leq \frac{589 \text{ mm}}{4} \end{aligned}$$

$$120 \text{ mm} \leq 147,25 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 8 D \text{ tul. longitudinal}$$

$$120 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 24 \emptyset \text{ sengkang}$$

$$120 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$Spakai \leq 300$$

$$120 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kesimpulan :

Tulangan geser pada daerah tumpuan 1 dan 3 dipakai tulangan sebesar :  $\varnothing 10\text{-}120 \text{ mm}$

## 2. Wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5ln - 2h)}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{320118,3 \text{ N} \times (0,5 \times 7200 - 2 \times 650)}{0,5 \times 7200} = 202891,85 \text{ N}$$

Cek kondisi :

**Kondisi geser 1 (Tidak perlu tulangan geser)**

$$Vu \leq 0,5 \times \varnothing \times Vc$$

$$202891,85 \text{ N} \leq 92548,34 \text{ N} \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

**Kondisi geser 2 (Tulangan geser minimum)**

$$0,5 \times \varnothing \times Vc \leq Vu \leq \varnothing \times Vc$$

$$92548,34 \text{ N} \leq 202891,85 \text{ N} \leq 185096,68 \text{ N}$$

**(Tidak Memenuhi)**

**Kondisi geser 3 (Tulangan geser minimum)**

$$\varnothing \times Vc \leq Vu \leq \varnothing (Vc + Vs \text{ min})$$

$$185096,68 \text{ N} \leq 202891,85 \text{ N} \leq 251359,18 \text{ N}$$

**(Memenuhi)**



Maka perencanaan penulangan geser sloof diambil berdasarkan kondisi 3

$$V_s \text{ perlu} = \phi V_s \text{ min} = 66262,5 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan geser  $\phi 10$  mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 1/4 \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki} \\ &= 0,25 \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 \times 2 = 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu

$$\begin{aligned} S \text{ perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} \\ &= \frac{157,08 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ Mpa} \times 589 \text{ mm}}{66262,5 \text{ N}} \\ &= 335,10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai jarak  $S = 150$  mm

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser pada sloof :**

Kontrol jarak spasi tulangan geser  
(SNI 2847-2013, Pasal 21.3.4.2)

$$S_{pakai} \leq \frac{d}{2}$$

$$150 \text{ mm} \leq \frac{589 \text{ mm}}{2}$$

$$150 \text{ mm} \leq 294,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$S_{pakai} \leq 8 D \text{ tul. longitudinal}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$S_{pakai} \leq 24 \phi \text{ sengkang}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

$$S_{pakai} \leq 300$$

150 mm  $\leq$  300 mm

OK

Kesimpulan :

Tulangan geser pada daerah lapangan 2 dipakai tulangan sebesar :  $\varnothing 10$ -150 mm

- **Perhitungan Panjang Penyaluran**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12**.

- ✓ **Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik**

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2** Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

**[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]**

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut

*Tabel 4. 7 Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir*

	Batang tulangan atau kawat ulir $\leq$ D-19	Batang tulangan $\geq$ D- 22
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $l_d$ tidak kurang dari minimum tata cara atau spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$
Kasus-kasus lain	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$	$\left[ \frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right] d_b$



Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\psi_e$  = faktor pelapis

$\lambda$  = faktor beton agregat ringan = 1 (beton normal)

### Perhitungan

$$\lambda_d = [f_y \Psi_t \psi_e / 1,7 \lambda \sqrt{f_c'}] d_b \\ = [400 \times 1 \times 1,5 / 1,7 \times 1 \sqrt{30}] 22 = 1417,63 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_d > 300 \text{ mm}$

1417,63 mm > 300 mm (memenuhi)

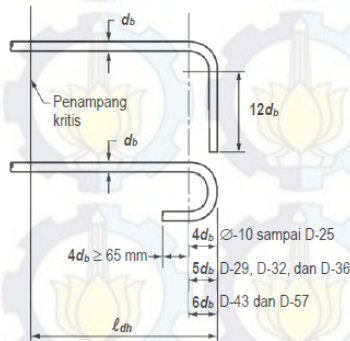
Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pasang} \times \lambda_d \\ = 2398,94 / 2660,93 \times 1417,63 \\ = 1278,06 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik sebesar 1300 mm

- ✓ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik  
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 150 mm. [**SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1**] Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2 Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \psi_e f_y / \lambda \sqrt{f_c'}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil sebesar 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



Gambar 4. 11 Detail tulangan berkait untuk penyaluran kait standar

$$\lambda_{dh} = 0,24 \psi_e F_y / \lambda \sqrt{f_c'} \times db$$

$$\lambda_{dh} = 0,24 \times 1 \times 400 / 1 \times \sqrt{30} \times 22$$

$$\lambda_{dh} = 385,6 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

$$385,6 \text{ mm} > 150 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = A_s \text{ perlu} / A_s \text{ pasang} \times \lambda_{hb}$$

$$= 2398,94 / 2660,93 \times 385,6$$

$$= 347,63 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

Maka dipakai panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 350 mm.

Panjang kait

$$12db = 12(22) = 264 \text{ mm}$$

✓ Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm. [SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1]. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari:

$$\lambda_{dc} = 0,24 f_y / \lambda \sqrt{f_c'} \times db$$

$$= 0,24 \times 400 / 1 \sqrt{30} \times 22 = 385,6 \text{ mm}$$



$$\lambda_{dc} = (0,043 f_y) db = (0,043 \times 400) \times 22 = 378,4 \text{ mm}$$

Diambil 385,6 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{reduksi} &= A_s' \text{ perlu} / A_s' \text{ pasang} \times \lambda_d \\ &= 798,28 / 1140,4 \times 385,6 \\ &= 269,92 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang kait

$$4db + 4db = 4(22) + 4(22) = 176 \text{ mm}$$

#### 4.2.5 Perhitungan Kolom

##### 4.2.5.1 Perhitungan Kolom K1

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan  $P_u$  ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As-F4 pada lantai 2. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000, ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dalam metode SRPMM adalah sebagai berikut :

##### 1. Perhitungan Lentur Kolom

Data perencanaan kolom :

- Tipe kolom	: K1
- As kolom	: F-4
- Frame	: 201
- Tinggi kolom atas	: 5000 mm
- Tinggi kolom bawah	: 5000 mm
- Tinggi kolom Pendek	: 1500 mm
- b kolom	: 600 mm
- h kolom	: 600 mm
- Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
- Modulus elastisitas beton ( $E_c$ )	: $4700 \sqrt{f_c'}$
- Modulus elastisitas baja ( $E_s$ )	: 200000 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ lentur)	: 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser ( $f_y$ geser)	: 240 MPa
- Diameter tulangan lentur ( $\emptyset$ lentur)	: 25 mm
- Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 10 mm

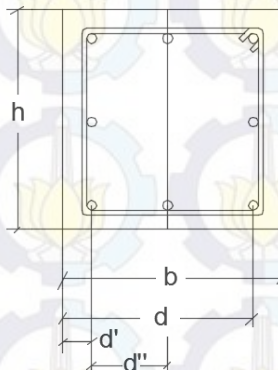
- Tebal selimut beton (decking) : 40 mm  
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1]
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 40 mm  
[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3]
- Faktor  $\beta_1$  : 0,85  
[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]
- Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) : 0,65  
[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2)]
- Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) : 0,75

Maka, tinggi efektif kolom :

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tul lentur} \\ &= 600 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 25) \\ &= 537,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 25) \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \phi \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tul lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (25) - \frac{1}{2} (600) \\ &= 237,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 41 Tinggi Efektif Kolom





Gambar 4. 42 Denah Posisi Kolom K1 (60/60) Pada As F-4

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 201 didapatkan :  
Gaya Aksial Kolom

$$P_{DL} \text{ (DEAD)} = 627018,32 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial

-627018.32 N  
at 0. mm

$$P_u (1,2 D + 1,6 L) = 2034581,5 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial

-2034581.5 N  
at 0. mm

$$P_u (1,2D + 0,3E_x + 1E_y) = 755000,9 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial

-755000.9 N  
at 0. mm

$$P_u (1,2D + 1E_x + 0,3E_y) = 765264,68 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial

-765264.68 N  
at 0. mm

Momen akibat pengaruh beban gravitasi

Momen arah sumbu X

$$M_{2ns} = 652126240 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment



Moment M3

-652126240. N-mm  
at 5000. mm

$$M_{1ns} = 216498435,8 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment



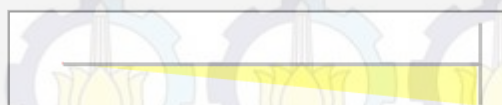
Moment M3

216498435.8 N-mm  
at 0. mm

Momen arah sumbu Y

$$M_{2ns} = 50741825,38 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment

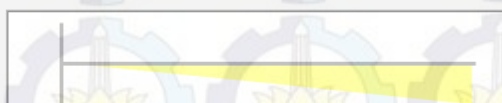


Moment M2

50741825.38 N-mm  
at 5000. mm

$$M_{1ns} = 1681970,05 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment



Moment M2

-1681970.05 N-mm  
at 0. mm



Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M_{1ns}$  = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

(SNI 03-2847-2013)

$M_{2ns}$  = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

(SNI 03-2847-2013)

Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X

$M_{2s} = 221375053 \text{ Nmm}$



$M_{1s} = 151128133,9 \text{ Nmm}$



Momen arah sumbu Y

$M_{2s} = 472286855 \text{ Nmm}$



$M_{1s} = 372715612 \text{ Nmm}$



### Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa

M1s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm [SNI 03-2847-2013]

M2s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm [SNI 03-2847-2013]

### Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 ps 21.3.2 Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari  $A_g \cdot f_c' / 10$  dan bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (Ketentuan Kolom untuk SRPMM)

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} \leq P_u$$

$$\frac{600 \cdot 600 \cdot 30}{10} \leq 2453804,54 \text{ N}$$

$$1080000 \text{ N} < 2034581,5 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

### Kontrol kelangsingan kolom

$\beta_d$  = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{1,2 \times PDL}{1,2DL + 1,6LL}$$

$$= \frac{1,2 \times PDL}{1,2DL + 1,6LL} = 0,37$$

Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\Sigma(EIL/)_\text{kolom}}{\Sigma(EIL/)_\text{balok}} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7})$$

Untuk kolom (60/60)

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ik}{1 + \beta_d} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1})$$

$$\begin{aligned} Ik &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 600 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^3 \\ &= 7560000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f_c'}$$



$$= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Elk &= \frac{0.4 \times Ec \times Ik}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0.4 \times 25742,96 \times 7560000000}{1 + 0,5} \\ &= 56830025607969 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Untuk balok induk B1 (40/60)

$$\begin{aligned} Elb &= \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1}) \\ Ib &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^3 \\ &= 2520000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c'}$$

$$= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} Elb &= \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0.4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,5} \\ &= 18943341869323 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Untuk balok induk B2 (35/50)

$$\begin{aligned} Elb &= \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1}) \\ Ib &= 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,35 \times 1/12 \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3 \\ &= 1276041667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c'}$$

$$= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$EIb = \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0.4 \times 25742,96 \times 1276041667}{1 + 0,5}$$

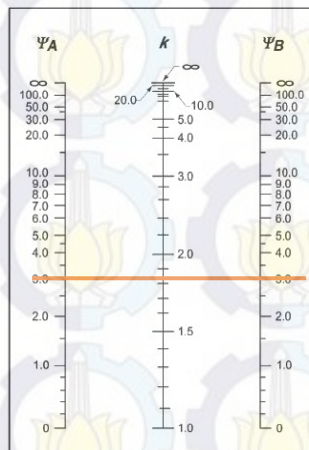
$$= 9592259337765 \text{ Nmm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k)  
Kekakuan Kolom atas

$$\psi_A = \frac{\Sigma \left( \frac{EI}{L} \right)_{\text{kolom atas}}}{2 \times \left( \frac{EI}{L} \right)_B + \left( \frac{EI}{L} \right)_B} = 3$$

Kekakuan Kolom bawah

$$\psi_B = \frac{\Sigma \left( \frac{EI}{L} \right)_{\text{kolom bawah}}}{2 \times \left( \frac{EI}{L} \right)_B + \left( \frac{EI}{L} \right)_B} = 3$$



(b)

Rangka bergoyang

Gambar 4. 43 Faktor Panjang Efektif (K)



Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7  
 Dari grafik alignment didapatkan  $K = 1,84$

Menghitung radius girasi ( $r$ )

Menurut SNI 2847-2013 psl 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 h$$

$$r = 0,3 \times 600 = 180 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

$$\text{Nilai } \frac{k \times Lu}{r} \leq 22$$

Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

$$\text{Nilai } \frac{k \times Lu}{r} \geq 22$$

(termasuk kolom langsing)

$$\frac{1,84 \times 600}{180} \geq 22 = 51,11 \text{ (maka kolom termasuk kolom langsing)}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1)

#### Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa ( $1,2D + 0,3Ex + 1Ey$ )

$$M1s = 151128133,9 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 221375053 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi  $1,2D + 1,6L$  :

$$M1ns = 216498435,8 \text{ Nmm}$$

$$M2ns = 652126240 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai  $P_c$  (P kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times Lu^2)} = \frac{9,86 \times 56830025607969}{(1,84 \times 5000^2)} = 12193258,06 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c = 4 \times 12193258,06 \text{ N} = 48773032,25 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u = 4 \times 2034581,5 \text{ N} = 8138326 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{8138326 \text{ N}}{0.75 \times 48773032,25 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,29 \geq 1$$

Maka digunakan  $\delta_s = 1,29$  dalam perhitungan pembesaran momen. (SNI 2013-10.10.7.4)

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M1 &= M1_{ns} + \delta_s M1_s \\ &= 216498435,8 \text{ Nmm} + 1,29 \times (151128133,9 \text{ Nmm}) \\ &= 410870852 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= M2_{ns} + \delta_s M2_s \\ &= 652126240 \text{ Nmm} + 1,29 \times (221375053 \text{ Nmm}) \\ &= 936846251 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M2 = 936846251 \text{ Nmm}$$

#### Menentukan $\rho_{\text{perlu}}$ dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1971. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned} \mu_h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - \emptyset_{\text{lentur}} \\ &= 600 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 25 \text{ mm} \\ &= 475 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu_h}{h \text{ kolom}} = \frac{475}{600} = 0,79$$



Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \cdot h}$$

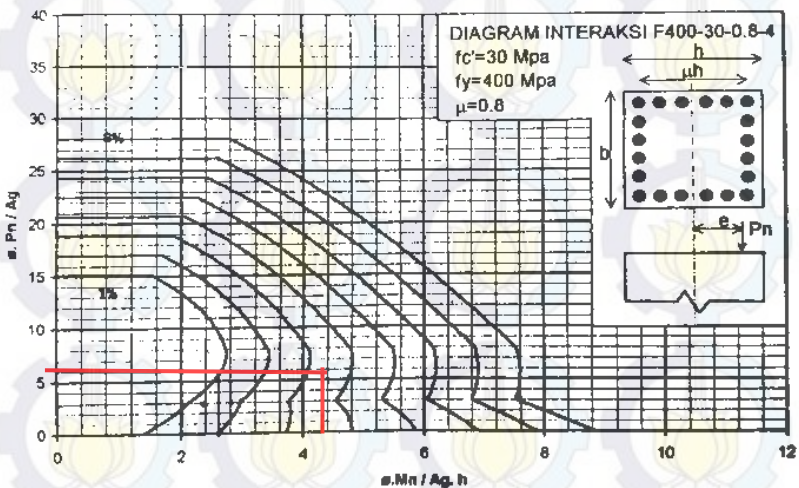
$$= \frac{2034581,5 \text{ N}}{600 \times 600} = 5,65 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g} = \frac{M_u}{b \cdot h^2}$$

$$= \frac{936846251 \text{ Nmm}}{600 \times 600^2} = 4,34 \text{ N/mm}^2$$

DIAGRAM INTERAKSI  
F400-30-0,8-4



F400-30-0,8-4

Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 3 \% = 0,03$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$$

$$= 0,03 \times 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$$

$$= 10800 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D25} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{As perlu} \\ n &= \frac{\text{luas tulangan D22}}{10800} \\ n &= \frac{10800}{490,87} = 22 \approx 24 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2\right) \\ &= 24 \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2\right) \\ &= 11780,97 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 24 D25 .

Presentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned}\frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% &= \frac{11780,97}{600 \times 600} \times 100\% \\ &= 3,27\% < 8\% \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{936846251 \text{ Nmm}}{0,65} = 1441301925,09 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{2034581,5 \text{ N}}{0,65} = 3130125,38 \text{ N}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{1441301925,09 \text{ Nmm}}{3130125,38 \text{ N}} = 460,46 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = 15,24 + 0,03h = 33,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 = 537,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62,5 \text{ mm}$$



$$d'' = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 - \frac{1}{2} 600 = 237,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d = \frac{600}{(600 + 400)} 537,5 \text{ mm}$$

$$= 322,5 \text{ mm}$$

$$ab = 0,85 \cdot x_b = 0,85 \times 322,5 \text{ mm}$$

$$= 274,125 \text{ mm}$$

$$Cs' = A_s (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 11780,97 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 4411974,18 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 11780,97 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4712388,98 \text{ N}$$

$$Cc' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x_b$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 600 \times 322,5$$

$$= 4194112,5 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = Cc' + Cs' - T$$

$$= 4194112,5 \text{ N} + 4411974,18 \text{ N} - 4712388,98 \text{ N}$$

$$= 3893697,7 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= Cc' \left( d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 4194112,5 \text{ N} \left( 537,5 - 237,5 - \frac{274,125}{2} \right) + 4411974,18 \text{ N}$$

$$(537,5 - 237,5 - 62,5) + 4712388,98 \text{ N} \cdot 237,5$$

$$= 2850414457 \text{ Nmm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 2850414457 \text{ Nmm} / 3893697,7 \text{ N}$$

$$= 732,06 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

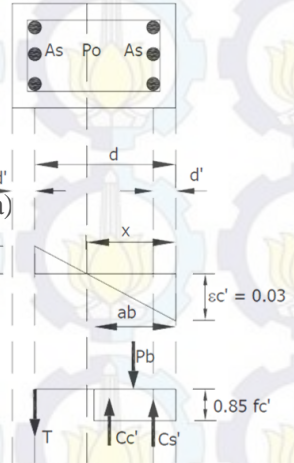
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tarik Menentukan)

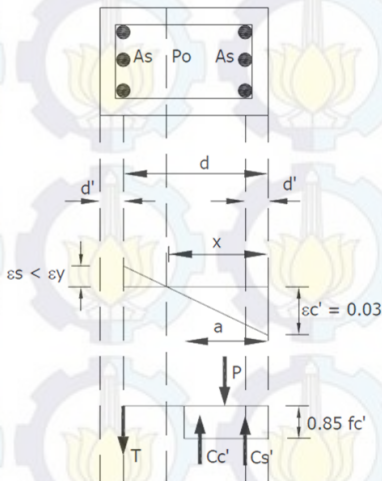
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$

$$33,24 \text{ mm} < 460,46 \text{ mm} < 732,06 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan



Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :  $e \text{ perlu} < e_b$

$$460,46 \text{ mm} < 732,06 \text{ mm (ok)}$$

Mencari nilai  $x$

$$a = 0,54 \cdot d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 537,5 \text{ mm}$$

$$x = 341,47 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 341,47$$

$$= 290,25 \text{ mm}$$

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = (d/x - 1) \cdot 0,003$$

$$= (537,5/341,47 - 1) \cdot 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

$$= 0,00172 \times 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s$$

$$= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa}$$

$$= 0,002$$



Kontrol :  $\epsilon_s < \epsilon_y$

$$0,00172 < 0,002 \dots (\text{ok})$$

$F_s < F_y$

$$344,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \dots (\text{ok})$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 11780,97 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 4411974,18 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 341,47$$

$$= 4440825 \text{ N}$$

$$T = A_s (d/x - 1) \cdot 600$$

$$= 11780,97 \text{ mm}^2 (537,5/341,47 - 1) \cdot 600$$

$$= 4712388,98 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 4411974,18 \text{ N} + 4440825 \text{ N} - 4712388,98 \text{ N}$$

$$= 4140410,2 \text{ N}$$

Syarat :  $P > P_b$

$$4140410,2 \text{ N} > 3893697,7 \text{ N} (\text{ok})$$

$$M_n = C_c' (d - d'' - \frac{a}{2}) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 4411974,18 \text{ N} (537,5 - 237,5 - \frac{290,47}{2}) + 4440825 \text{ N}$$

$$(537,5 - 237,5 - 62,5) + 4712388,98 \text{ N} \cdot 237,5$$

$$= 2854809023 \text{ Nmm}$$

Cek syarat :

$M_n \text{ terpasang} > M_n$

$$2854809023 \text{ Nmm} > 1441301925 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

### Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah Y pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D + 0,3Ex + 1Ey)

$$M1s = 372715612 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 472286855 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L :

$$M1ns = 1681970,05 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 50741825,38 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai  $P_c$  (P kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times L_u^2)} = \frac{9,86 \times 56830025607969}{(1,84 \times 5000^2)} = 12193258,06 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c = 4 \times 12193258,06 \text{ N} = 48773032,25 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u = 4 \times 2034581,5 \text{ N} = 8138326 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{8138326 \text{ N}}{0,75 \times 48773032,25 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,29 \geq 1$$

Maka digunakan  $\delta_s = 1,29$  dalam perhitungan pembesaran momen. (SNI 2013-10.10.7.4)

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 1681970,05 \text{ Nmm} + 1,29 \times (372715612 \text{ Nmm}) \\ &= 481047606,9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 50741825,38 \text{ Nmm} + 1,29 \times (472286855 \text{ Nmm}) \\ &= 658170335,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 658170335,8 \text{ Nmm}$$

Menentukan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1971. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :



$$\begin{aligned}\mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Øgeser}) - \text{Ølentur} \\ &= 600 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 25 \text{ mm} \\ &= 475 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{475}{600} = 0,79$$

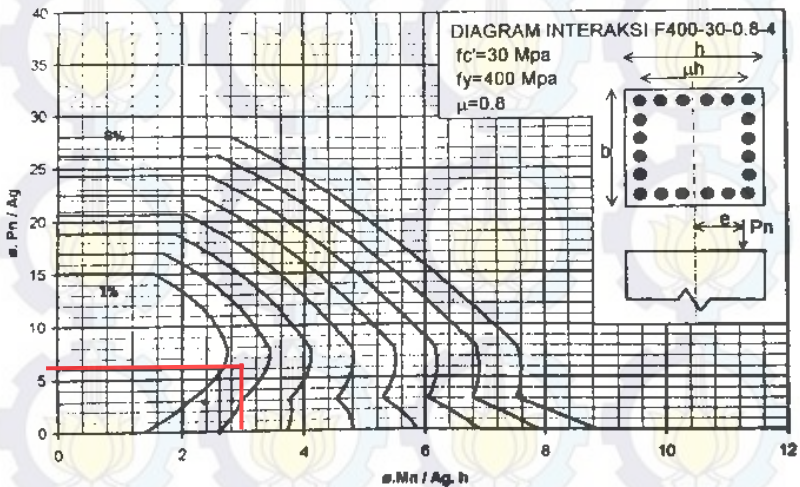
Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{2034581,5 \text{ N}}{600 \times 600} = 5,65 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}\frac{\phi M_n}{A_g} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{658170335,8 \text{ Nmm}}{600 \times 600^2} = 3,05 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

DIAGRAM INTERAKSI  
F400-30-0,8-4



F400-30-0,8-4

Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 2 \% = 0,02$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,02 \times 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 7200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D25} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (25 \text{ mm})^2 \\ &= 490,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D25}} \\ n &= \frac{7200}{490,87} = 14,67 \approx 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 16 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 7853,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 24 D25 .

Presentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned} \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% &= \frac{7853,98}{600 \times 600} \times 100\% \\ &= 2,18\% < 8\% \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{658170335,8 \text{ Nmm}}{0,65} = 1012569747,44 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{2034581,5 \text{ N}}{0,65} = 3130125,38 \text{ N}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{1012569747,44 \text{ Nmm}}{3130125,38 \text{ N}} = 323,49 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = 15,24 + 0,03h = 33,24 \text{ mm}$$



### Cek kondisi balance

Syarat :  $\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 = 537,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 25 - \frac{1}{2} 600 = 237,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d = \frac{600}{(600 + 400)} 537,5 \text{ mm}$$

$$= 322,5 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \cdot x_b = 0,85 \times 322,5 \text{ mm}$$

$$= 274,125 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 2941316,12 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 3141592,65 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x_b$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 600 \times 322,5$$

$$= 4194112,5 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 4194112,5 \text{ N} + 2941316,12 \text{ N} - 3141592,65 \text{ N}$$

$$= 3893697,7 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left( d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 4194112,5 \text{ N} \left( 537,5 - 237,5 - \frac{274,125}{2} \right) + 2941316,12 \text{ N}$$

$$(537,5 - 237,5 - 62,5) + 3141592,65 \text{ N} \cdot 237,5$$

$$= 2128069040 \text{ Nmm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 2128069040 \text{ Nmm} / 3893697,7 \text{ N}$$

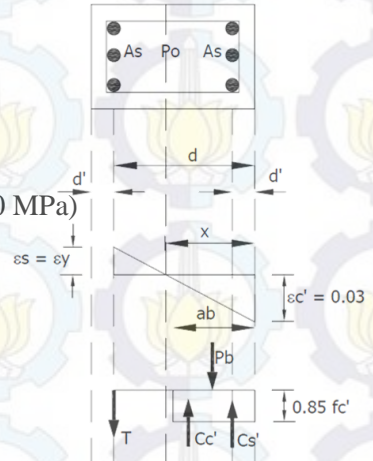
$$= 532,84 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tarik Menentukan)

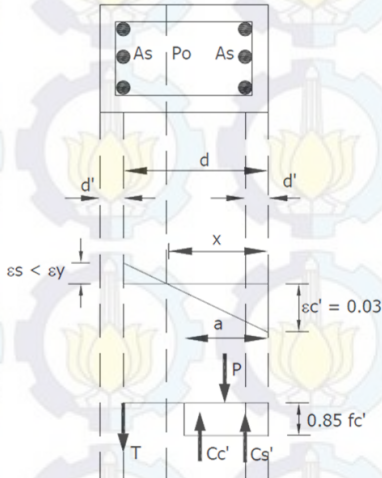
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$



33,24 mm < 323,49 mm < 532,84 mm

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :  $\epsilon_s \text{ perlu} < \epsilon_b$

323,49 mm < 532,84 mm (ok)

Mencari nilai  $x$

$$a = 0,54 \cdot d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 537,5 \text{ mm}$$

$$x = 341,47 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 341,47$$

$$= 290,25 \text{ mm}$$

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = (d/x - 1) \cdot 0,003$$

$$= (537,5/341,47 - 1) \cdot 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

$$= 0,00172 \times 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s$$



$$= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa}$$

$$= 0,002$$

$$\text{Kontrol : } \varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \dots (\text{ok})$$

$$F_s < F_y$$

$$344,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \dots (\text{ok})$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 2941316,12 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 341,47$$

$$= 4440825 \text{ N}$$

$$T = A_s (d/x - 1) \cdot 600$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2 (537,5/341,47 - 1) \cdot 600$$

$$= 2705260,34 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2941316,12 \text{ N} + 4440825 \text{ N} - 2705260,34 \text{ N}$$

$$= 4140410,2 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } P > P_b$$

$$4140410,2 \text{ N} > 3893697,7 \text{ N} (\text{ok})$$

$$M_n = C_c' \left( d - \frac{d''}{2} \right) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 2941316,12 \text{ N} \left( 537,5 - \frac{237,5}{2} \right) + 2705260,34 \text{ N} \cdot \frac{290,47}{2}$$

$$= (537,5 - 237,5 - 62,5) + 2705260,34 \text{ N} \cdot 237,5$$

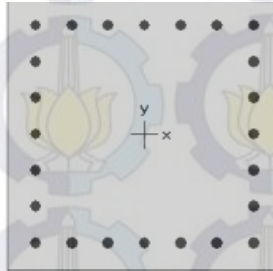
$$= 2132463606 \text{ Nmm}$$

$$\text{Cek syarat :}$$

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$2132463606 \text{ Nmm} > 1012569747 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 24 D25 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:



Gambar 4. 44 Penampang Kolom K1

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$S_{max} \geq S_{sejajar} \rightarrow$  susun 1 lapis

$S_{max} \leq S_{sejajar} \rightarrow$  perbesar penampang kolom

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times \phi \text{ geser}) - (n \times \phi \text{ lentur})}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{600 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (7 \times 25)}{7 - 1}$$

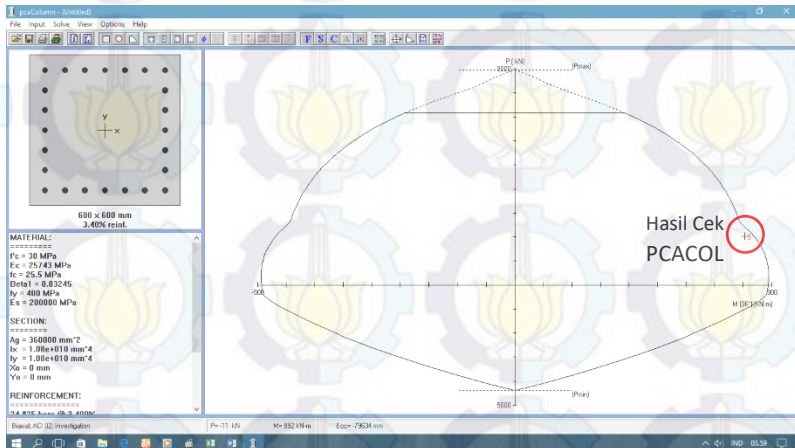
$S_{max} = 54,167 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$  (memenuhi)  
(maka tulangan lentur disusun 1 lapis)

Cek dengan program pcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 N/mm <sup>2</sup>
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	= 400 N/mm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas	= 25742,96 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$	= 0,85
b kolom	= 600 mm
h kolom	= 600 mm
Tulangan Kolom Pasang	= 24 D 25





Gambar 4. 45 Grafik Akibat Momen pada PCACOL

Reinforcement:

```
=====
Rebar Database: ASTM A615M
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 10      10      71
# 19      19     284
# 29      29     645
# 43      43    1452
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 13      13     129
# 22      22     387
# 32      32     819
# 57      57    2581
Size Diam (mm) Area (mm^2)
# 16      16     199
# 25      25     510
# 36      36    1006

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #13 with larger bars.
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular
Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)
Total steel area, A_s = 12240 mm^2 at 3.40%
24 #25 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)
=====
```

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	4258.0	230.7	140.1	617.8	375.2	2.678
2	3130.1	425.5	575.2	657.7	618.7	1.076
3	2034.5	652.1	472.3	677.4	490.7	1.039
4	936.5	69.8	267.2	253.7	971.1	3.635

\*\*\* Program completed as requested! \*\*\*

Gambar 4. 46 Hasil Output pada PCACOL

Bersasarkan Output dari pcaColumn

Mux = 652,1 kNm < Mnx = 677,4 kNm

Muy = 472,3 kNm < Mny = 490,7 kNm

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 24 D25

Presentase tulangan terpasang:

$$A_{spasang} = 24 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ = 11780,97 \text{ mm}^2$$

Cek persyaratan :

$$\% \text{ tulangan} = \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ = \frac{11780,97 \text{ mm}^2}{600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = 3,27 \% < 8\% \text{ (ok)}$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCACOL lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual ( $M_u$  manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

## 2. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

Data Perencanaan

- h kolom : 600 mm
- b kolom : 600 mm
- Tebal selimut beton : 40 mm
- Tinggi kolom : 5000 mm
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 240 Mpa
- Diameter tulangan lentur : 25 mm
- Diameter tulangan geser : 10 mm
- Faktor reduksi : 0,75

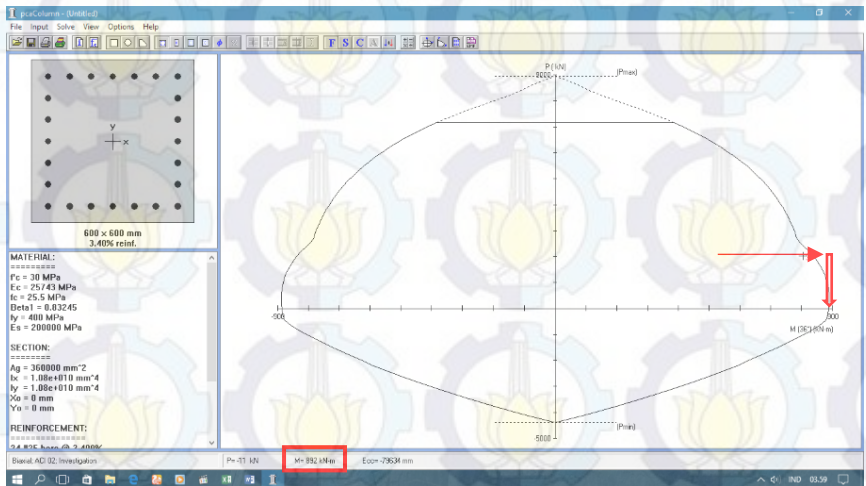
(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut :

$$P_u = (1,2D + 1,6L) \\ = 2034581,5 \text{ N}$$

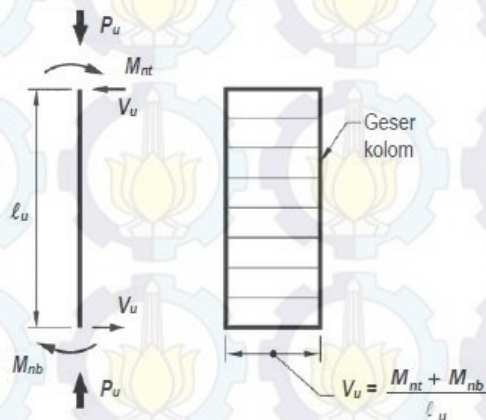


Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcacol sebagai berikut :



Gambar 4. 47 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

$$\begin{aligned} \text{Mut} &= 892000000 \text{ Nmm} \\ \text{Mub} &= 892000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 48 Lintang Kolom untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5})$$

Dimana :

$M_{nt}$  = Momen nominal atas (top) kolom

$M_{nb}$  = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = M_{ut}/\phi = 892000000/0,75 = 1189333333 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = M_{ub}/\phi = 892000000/0,75 = 1189333333 \text{ Nmm}$$

$$V_u = M_{nt} + M_{nb}/l_u = 2378666667/5000 = 475733,333 \text{ N}$$

Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa  
(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,48 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kekuatan geser pada beton :

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{2034581,5 \text{ N}}{14 \times 360000 \text{ mm}^2} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 600 \times 537,5$$

$$= 421511,56 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$V_{smin} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 600 \times 537,5$$

$$= 107500 \text{ N}$$

$$V_{smax} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times 600 \times 537,5$$

$$= 588802 \text{ N}$$

$$2V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 600 \times 537,5$$

$$= 1177603 \text{ N}$$



Cek kondisi penulangan geser :

**Kondisi 1 :**

$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow$  (Tidak Perlu Tulangan Geser)

$475733,333 \text{ N} \geq 158066,83 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

**Kondisi 2 :**

$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow$  (Tulangan Geser Minimum)

$158066,83 \text{ N} \leq 475733,333 \text{ N} \geq 316133,67 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

**Kondisi 3 :**

$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{smin}) \rightarrow$  (Perlu Geser Minimum)

$316133,67 \text{ N} \leq 475733,333 \text{ N} \leq 396758,67 \text{ N}$  (tidak memenuhi)

**Kondisi 4 :**

$\emptyset (V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{smax}) \rightarrow$  (Perlu Geser)

$396758,67 \text{ N} \leq 475733,333 \text{ N} \leq 656703,65 \text{ N}$  (memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan

*Kondisi 4. Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ ) :*

$$V_s \text{ perlu} = \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset} = \frac{475733,333 \text{ N} - 0,75 \times 421511,56 \text{ N}}{0,75} \\ = 212799,56 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \text{ kaki} \\ = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ = 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{perlu}$ )

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} = \frac{157 \times 240 \times 537,5}{212799,56} = 158,7 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi 4*

$$S_{max} \leq d/2$$

$$158,7 \text{ mm} \leq 537,5 \text{ mm}/2$$

$$158,7 \text{ mm} \leq 269,5 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$158,7 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Sehingga dicoba pakai tulangan geser  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$

Cek Persyaratan SPRMM untuk Kekuatan Geser Kolom

1). Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $L_o$  dari muka hubungan balok-kolom  $S_o$ . Spasi  $S_o$  tersebut tidak boleh melebihi :

- a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,  
 $S_o \leq 8 \times \varnothing_{\text{lentur}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 8 \times 25 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$  ( Memenuhi)
- b) 24 kali diameter sengkang ikat,  
 $S_o \leq 24 \times \varnothing_{\text{sengkang}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (Memenuhi)
- c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,  
 $S_o \leq 1/2 \times b_w$   
 $150 \text{ mm} \leq 1/2 \times 600 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  (Memenuhi)
- d)  $S_o \leq 300 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  (memenuhi)

*Maka, dipakai  $S_o$  sebesar  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$ .*

Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,  
 $L_o = 1/6 \times (5000 - 600)$   
 $L_o = 1/6 \times 4400 = 733,3 \text{ mm}$
- b) Dimensi terbesar penampang kolom  
 $L_o = 600 \text{ mm}$
- c)  $L_o > 450 \text{ mm}$

*Maka dipakai  $L_o$  sebesar 750 mm*

- 1) Sehingga dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$  sejarak 750 mm dari muka hubungan balok kolom.



- 2) Senggang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok kolom.
- 3) Spasi senggang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$ .  
Maka pada daerah setelah sejarak  $L_o = 750 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang senggang sebesar  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$ .

### 3. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 420 \text{ Mpa}$  atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 25 \geq 300 \text{ mm}$$

$$710 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 700 mm

### 4. Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D25 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \times \frac{\psi_t\psi_o\psi_s}{\left(\frac{c+ktr}{d_b}\right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400}{1,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \times \frac{1 \times 1,5 \times 1}{2,5} = 39,83$$

$$L_d = 39,83 \times 25 \text{ mm}$$

$$L_d = 995,75 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

$$F_s = 60\% \times f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_s > f_y \rightarrow L_d \text{ pakai } = 1,3 \times 1000 \text{ mm} \\ = 1300 \text{ mm}$$

#### 4.2.5.2 Perhitungan Kolom K2

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan  $P_u$  ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As-A10 pada lantai 2. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, output SAP 2000, ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan kolom dalam metode SRPMM adalah sebagai berikut :

##### 1. Perhitungan Lentur Kolom

Data perencanaan kolom :

- Tipe kolom	: K2
- As kolom	: A-10
- Frame	: 495
- Tinggi kolom atas	: 5000 mm
- Tinggi kolom bawah	: 5000 mm
- Tinggi kolom Pendek	: 1500 mm
- b kolom	: 500 mm
- h kolom	: 500 mm
- Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 MPa
- Modulus elastisitas beton ( $E_c$ )	: $4700 \sqrt{f_c'}$
- Modulus elastisitas baja ( $E_s$ )	: 200000 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ lentur)	: 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser ( $f_y$ geser)	: 240 MPa
- Diameter tulangan lentur ( $\emptyset$ lentur)	: 19 mm
- Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 10 mm
- Tebal selimut beton (decking)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1]</i>	
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar)	: 40 mm
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3]</i>	
- Faktor $\beta_1$	: 0,85
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1)]</i>	
- Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\emptyset$ )	: 0,65
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2)]</i>	
- Faktor reduksi kekuatan geser ( $\emptyset$ )	: 0,75
<i>[SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3)]</i>	

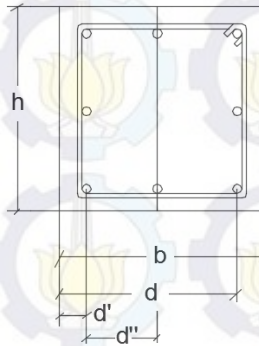


Maka, tinggi efektif kolom :

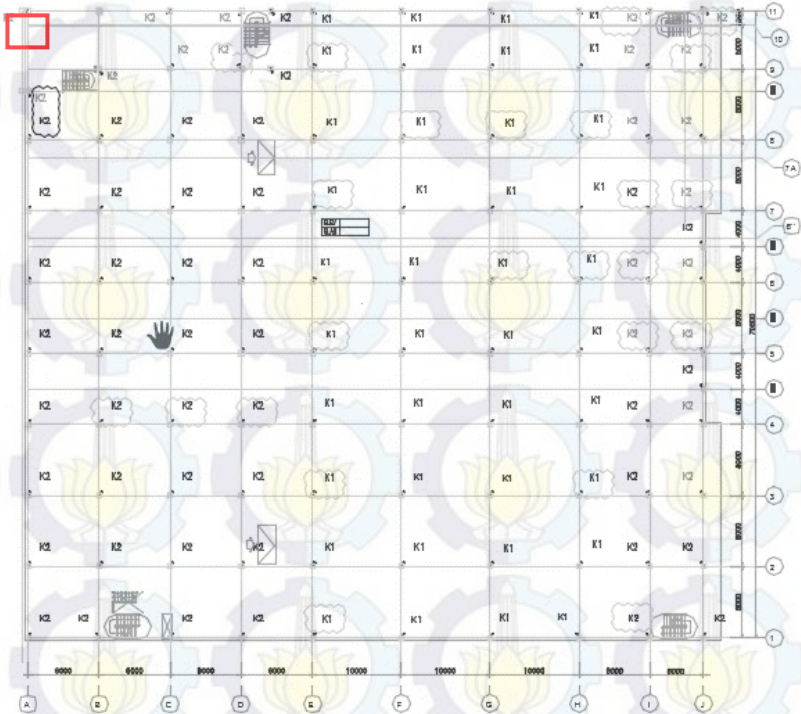
$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} \\ &= 500 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} \\ &= 40 + 10 + (\frac{1}{2} \cdot 19) \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) - \frac{1}{2} (500) \\ &= 190,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4. 49 Tinggi Efektif Kolom



Gambar 4. 50 Denah Posisi Kolom K2 (50/50) Pada As A-10

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 188 didapatkan :  
Gaya Aksial Kolom

$$P_{DL} \text{ (DEAD)} = 477227,02 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial  
-477227.02 N  
at 0. mm

$$P_u (1,2 D + 1,6 L) = 1420410,34 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial  
-1420410.34 N  
at 0. mm



$$P_u (1,2D + 0,3E_x + 1E_y) = 577517,06 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial

-577517.06 N  
at 0. mm

$$P_u (1,2D + 1L + 1E) = 1102508,62 \text{ N}$$

Resultant Axial Force



Axial

-1102508.62 N  
at 0. mm

Momen akibat pengaruh beban gravitasi

Momen arah sumbu X

$$M_{2ns} = 21583158,1 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment



Moment M3

-21583158.1 N-mm  
at 5000. mm

$$M_{1ns} = 4808480,24 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment



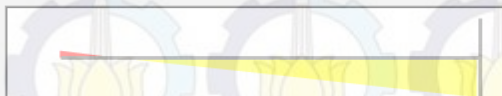
Moment M3

4808480.24 N-mm  
at 0. mm

Momen arah sumbu Y

$$M_{2ns} = 30557146,17 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment

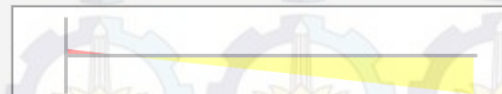


Moment M2

30557146.17 N-mm  
at 5000. mm

$$M_{1ns} = 5034681,52 \text{ Nmm}$$

Resultant Moment



Moment M2

-5034681.52 N-mm  
at 0. mm

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M_{1ns}$  = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

(SNI 03-2847-2013)

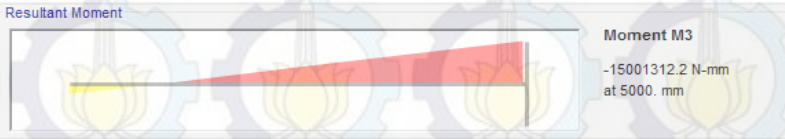
$M_{2ns}$  = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

(SNI 03-2847-2013)

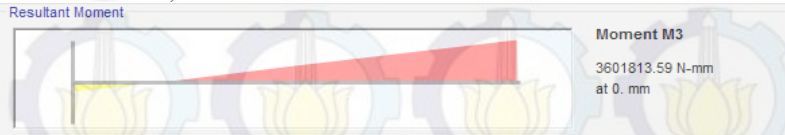
Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X

$M_{2s} = 15001312,2 \text{ Nmm}$



$M_{1s} = 3601813,59 \text{ Nmm}$



Momen arah sumbu Y

$M_{2s} = 20757730,26 \text{ Nmm}$



$M_{1s} = 3171875,98 \text{ Nmm}$





### Momen Akibat Pengaruh Beban Gempa

M1s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm [SNI 03-2847-2013]

M2s = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm [SNI 03-2847-2013]

### Syarat Gaya Aksial Pada Kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 ps 21.3.2 Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari  $A_g \cdot f_c' / 10$  dan bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti 21.3.5 (Ketentuan Kolom untuk SRPMM)

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} \leq P_u$$

$$\frac{500.500.30}{10} \leq 1420410 \text{ N}$$

$$750000 \text{ N} < 1420410 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

### Kontrol kelangsingan kolom

$\beta_d$  = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\beta_d = \frac{1,2 \times PDL}{1,2DL + 1,6LL}$$

$$= \frac{1,2 \times PDL}{1,2DL + 1,6LL} = 0,4$$

Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\Sigma(EIL/)_kolom}{\Sigma(EIL/)_balok} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7})$$

Untuk kolom (50/50)

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ik}{1 + \beta_d} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1})$$

$$Ik = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,7 \times 1/12 \times 500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$= 364583333,33 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elk = \frac{0.4 \times Ec \times Ik}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0.4 \times 25742,96 \times 3645833333,33}{1 + 0,4}$$

$$= 26754927571932 \text{ Nmm}^2$$

Untuk balok induk B1 (40/60)

$$Elb = \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1})$$

$$Ib = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,35 \times 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^3$$

$$= 2520000000 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700 \sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elb = \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0.4 \times 25742,96 \times 2520000000}{1 + 0,4}$$

$$= 18493005937719 \text{ Nmm}^2$$

Untuk balok induk B2 (35/50)

$$Elb = \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d} \quad (\text{SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1})$$

$$Ib = 0,35 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,35 \times 1/12 \times 350 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^3$$

$$= 1276041667 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700 \sqrt{fc'}$$



$$= 4700 \sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$EIb = \frac{0.4 \times Ec \times Ib}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0.4 \times 25742,96 \times 1276041667}{1 + 0,71}$$

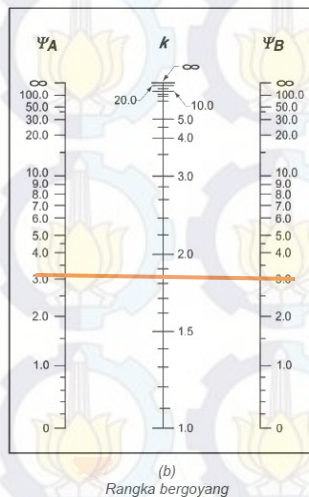
$$= 9364224650176 \text{ Nmm}^2$$

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k)  
Kekakuan Kolom atas

$$\psi_A = \frac{\sum \left( \frac{EI}{L} \right)_{\text{kolom atas}}}{2 \times \left( \frac{EI}{L} \right)_B + \left( \frac{EI}{L} \right)_B} = 3$$

Kekakuan Kolom bawah

$$\psi_B = \frac{\sum \left( \frac{EI}{L} \right)_{\text{kolom bawah}}}{2 \times \left( \frac{EI}{L} \right)_B + \left( \frac{EI}{L} \right)_B} = 3$$



Gambar 4. 51 Faktor Panjang Efektif (K)

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7  
 Dari grafik alignment didapatkan  $K = 1,82$

Menghitung radius girasi ( $r$ )

Menurut SNI 2847-2013 ps1 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 h$$

$$r = 0,3 \times 500 = 150 \text{ mm}$$

Kontrol Kelangsingan

$$\text{Nilai } \frac{k \times Lu}{r} \leq 22$$

Pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

$$\text{Nilai } \frac{k \times Lu}{r} \geq 22$$

(termasuk kolom langsing)

$$\frac{1,82 \times 500}{150} \geq 22$$

$60,67 \geq 22$  maka kolom termasuk kolom langsing  
 (SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.1)

#### Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D + 1L + 1E)

$$M1s = 3601813,59 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 15001312,2 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L :

$$M1ns = 4808480,24 \text{ Nmm}$$

$$M2ns = 21583158,1 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai  $P_c$  (P kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times Lu^2)} = \frac{9,86 \times 26754927571932}{(1,82 \times 5000^2)} = 5803528,59 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c = 4 \times 5803528,59 \text{ N} = 23214114,37 \text{ N}$$



$$\sum P_u = n \times P_u = 4 \times 1420410 \text{ N} = 5681641 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{5681641 \text{ N}}{0.75 \times 23214114,37 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,48 \geq 1$$

Maka digunakan  $\delta_s = 1,48$  dalam perhitungan pembesaran momen.  
(SNI 2013-10.10.7.4)

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M1 &= M1_{ns} + \delta_s M1_s \\ &= 4808480,24 \text{ Nmm} + 1,48 \times (3601813,59 \text{ Nmm}) \\ &= 10155056 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= M2_{ns} + \delta_s M2_s \\ &= 21583158,1 \text{ Nmm} + 1,48 \times (15001312,2 \text{ Nmm}) \\ &= 43851286 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M2 = 43851286 \text{ Nmm}$$

#### Menentukan $\rho_{\text{perlu}}$ dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1971. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned} \mu_h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \varnothing_{\text{geser}}) - \varnothing_{\text{lentur}} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 19 \text{ mm} \\ &= 381 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu_h}{h \text{ kolom}} = \frac{381}{500} = 0,76$$

Sumbu Vertikal

$$\frac{\phi P_n}{A_g} = \frac{P_u}{b \cdot h}$$

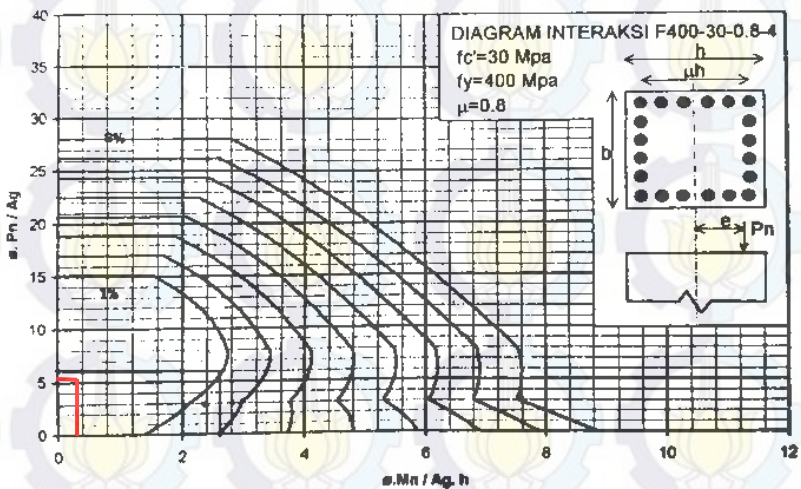
$$= \frac{1420410,34 \text{ N}}{500 \times 500} = 5,68 \text{ N/mm}^2$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{\phi M_n}{A_g} = \frac{M_u}{b \cdot h^2}$$

$$= \frac{43851286 \text{ Nmm}}{500 \times 500^2} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

DIAGRAM INTERAKSI  
F400-30-0,8-4



F400-30-0.8-4

Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,001$

Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h$$

$$= 0,01 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$$

$$= 2500 \text{ mm}^2$$



Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D19}} \\ n &= \frac{2500}{283,53} = 8,82 \approx 12 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= n \times (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2) \\ &= 12 \times (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2) \\ &= 3402,34 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 12 D19 .

Presentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned}\frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% &= \frac{3402,34}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% \text{ (Ok)}\end{aligned}$$

Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{43851286 \text{ Nmm}}{0,65} = 67463516,72 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1420410,34 \text{ N}}{0,65} = 2185246,68 \text{ N}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{67463516,72 \text{ Nmm}}{2185246,68 \text{ N}} = 30,87 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = 15,24 + 0,03h = 30,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 = 440,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 19 = 59,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19 - \frac{1}{2} \cdot 500 = 190,5 \text{ mm}$$

$$x_b = \frac{600}{(600 + f_y)} d = \frac{600}{(600 + 400)} 440,5 \text{ mm}$$

$$= 264,3 \text{ mm}$$

$$a_b = 0,85 \cdot x_b = 0,85 \times 264,3 \text{ mm}$$

$$= 224,655 \text{ mm}$$

$$C_s' = A_s (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3402,34 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 1274178,14 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 3402,34 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1360937,94 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x_b$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 264,3$$

$$= 2864351,25 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 2864351,25 \text{ N} + 1274178,14 \text{ N} - 1360937,94 \text{ N}$$

$$= 2777591,46 \text{ N}$$

$$M_b = P_b \times e_b$$

$$= C_c' \left( d - d'' - \frac{a_b}{2} \right) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 2864351,25 \text{ N} \left( 440,5 - 190,5 - \frac{224,655}{2} \right) + 1274178,14 \text{ N}$$

$$(440,5 - 59,5 - 190,5) + 1360937,94 \text{ N} \cdot 190,5$$

$$= 896332011 \text{ Nmm}$$

$$e_b = M_b / P_b$$

$$= 896332011 \text{ Nmm} / 2777591,46 \text{ N}$$

$$= 322,7 \text{ mm}$$

Kontrol Kondisi :

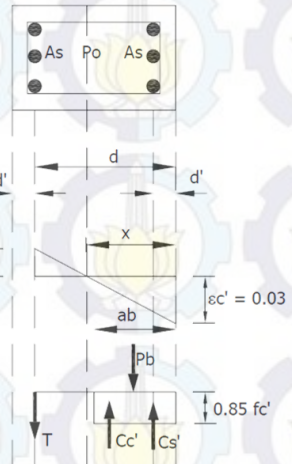
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$

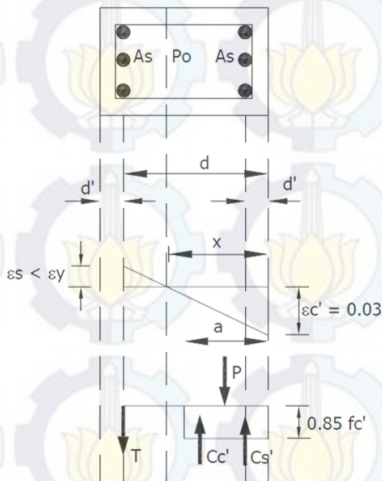
$30,24 \text{ mm} < 30,87 \text{ mm} < 322,7 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan





Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :  $e \text{ perlu} < e_b$

$$30,87 \text{ mm} < 322,7 \text{ mm (ok)}$$

Mencari nilai  $x$

$$a = 0,54 \cdot d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 440,5 \text{ mm}$$

$$x = 279,85 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 279,85 \text{ mm}$$

$$= 237,87 \text{ mm}$$

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = (d/x - 1) \cdot 0,003$$

$$= (440,5/279,85 - 1) \cdot 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

$$= 0,00172 \times 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 344,44 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

$$0,00172 < 0,002 \dots (\text{ok})$$

$F_s < F_y$

$$344,44 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \dots (\text{ok})$$

$$C_s' = A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3402,34 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa})$$

$$= 1274178,14 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 279,85$$

$$= 3032842,5 \text{ N}$$

$$T = A_s (d/x - 1) \cdot 500$$

$$= 3402,34 \text{ mm}^2 (440,5/279,85 - 1) \cdot 500$$

$$= 1360937,94 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P = C_c' + C_s' - T$$

$$= 3032842,5 \text{ N} + 1274178,14 \text{ N} - 1360937,94 \text{ N}$$

$$= 2946082,71 \text{ N}$$

Syarat :  $P > P_b$

$$2946082,71 \text{ N} > 2777591,46 \text{ N} (\text{ok})$$

$$M_n = C_c' (d - d'' - \frac{a}{2}) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d''$$

$$= 3032842,5 \text{ N} (440,5 - 190,5 - \frac{237,87}{2}) + 1274178,14 \text{ N}$$

$$(440,5 - 59,5 - 190,5) + 1360937,94 \text{ N} \cdot 190,5$$

$$= 899489115,8 \text{ Nmm}$$

Cek syarat :

$M_n \text{ terpasang} > M_n$

$$899489115,8 \text{ Nmm} > 67463517 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

### Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y

Berdasarkan output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah Y pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D + 1L + 1E)

$$M1s = 3171875,98 \text{ Nmm}$$

$$M2s = 20757730,26 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi 1,2D + 1,6L :

$$M1ns = 5034681,52 \text{ Nmm}$$



$$M_{2ns} = 30557146,17 \text{ Nmm}$$

Menghitung Nilai  $P_c$  (P kritis) Pada Kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times L_u^2)} = \frac{9,86 \times 26754927571932}{(1,82 \times 5000^2)} = 5803528,59 \text{ N}$$

$$\sum P_c = n \times P_c = 4 \times 5803528,59 \text{ N} = 23214114,37 \text{ N}$$

$$\sum P_u = n \times P_u = 4 \times 1420410 \text{ N} = 5681641 \text{ N}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0.75 \sum P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{5681641 \text{ N}}{0.75 \times 23214114,37 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 1,48 \geq 1$$

Maka digunakan  $\delta_s = 1,48$  dalam perhitungan pembesaran momen.  
(SNI 2013-10.10.7.4)

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 5034681,52 \text{ Nmm} + 1,48 \times (3171875,98 \text{ Nmm}) \\ &= 9743052,27 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 30557146,17 \text{ Nmm} + 1,48 \times (20757730,26 \text{ Nmm}) \\ &= 61370169,95 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 61370169,95 \text{ Nmm}$$

Menentukan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1971. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned}\mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{geser}) - \emptyset \text{lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 19 \text{ mm} \\ &= 381 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{381}{500} = 0,76$$

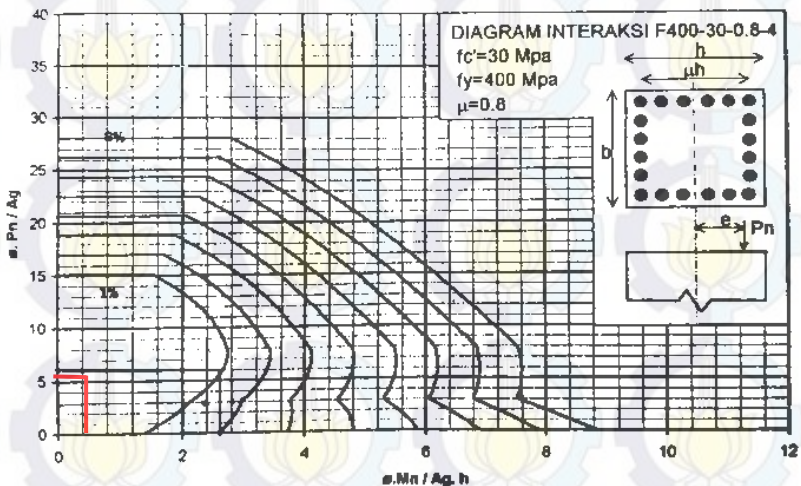
Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{1420410 \text{ N}}{500 \times 500} = 5,68 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}\frac{\phi M_n}{A_g} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{61370169,95 \text{ Nmm}}{500 \times 500^2} = 0,49 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

DIAGRAM INTERAKSI  
F400-30-0,8-4



F400-30-0,8-4

Maka didapatkan  $\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,001$



### Menghitung penulangan kolom

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,01 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 2500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (19 \text{ mm})^2 \\ &= 283,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D19}} \\ n &= \frac{2500}{283,53} = 8,82 \approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 12 \times \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 3402,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah Y menggunakan tulangan sebesar 12 D19 .

Presentase tulangan terpasang

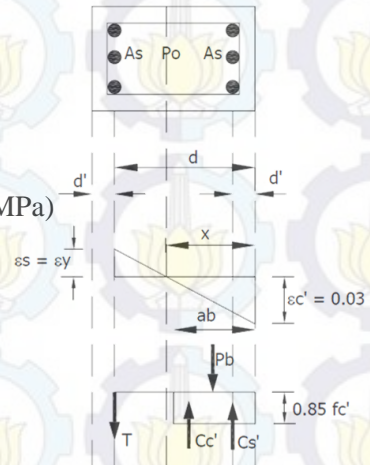
$$\begin{aligned} \frac{\text{As pasang}}{b \times h} \times 100\% &= \frac{3402,34}{500 \times 500} \times 100\% \\ &= 1,36\% < 8\% \text{ (Ok)} \end{aligned}$$

### Mencari e perlu dan e min

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{61370169,95 \text{ Nmm}}{0,65} = 94415646,08 \text{ Nmm}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{1420410 \text{ N}}{0,65} = 2185246,68 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_n}{P_n} = \frac{94415646,08 \text{ Nmm}}{2185246,68 \text{ N}} = 43,21 \text{ mm}$$





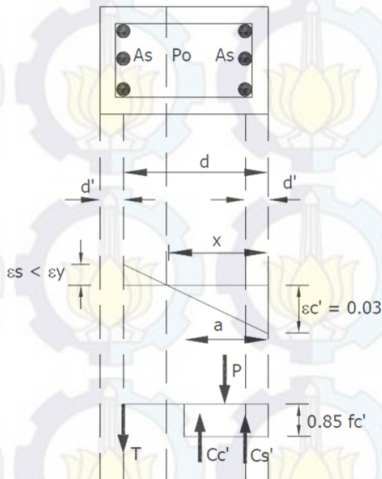
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$  (Kondisi Tarik Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$

$30,24 \text{ mm} < 43,21 \text{ mm} < 322,7 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan

### Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :  $e_{\text{perlu}} < e_b$

$43,21 \text{ mm} < 322,7 \text{ mm}$  (ok)

Mencari nilai  $x$

$$a = 0,54.d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 440,5 \text{ mm}$$

$$x = 279,85 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \cdot 279,85 \text{ mm}$$

$$= 237,87 \text{ mm}$$

Syarat :  $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\epsilon_s = (d/x - 1) \cdot 0,003$$

$$= (440,5/279,85 - 1) \cdot 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \epsilon_s \cdot E_s$$

$$= 0,00172 \times 200000 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 &= 344,44 \text{ MPa} \\
 \epsilon_y &= f_y / E_s \\
 &= 400 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol : } \epsilon_s &< \epsilon_y \\
 0,00172 &< 0,002 \dots (\text{ok})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_s &< F_y \\
 344,44 \text{ Mpa} &< 400 \text{ Mpa} \dots (\text{ok}) \\
 C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 3402,34 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\
 &= 1274178,14 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot x \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 500 \times 279,85 \\
 &= 3032842,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s (d/x - 1) \cdot 500 \\
 &= 3402,34 \text{ mm}^2 (440,5/279,85 - 1) \cdot 500 \\
 &= 1171918,78 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma V = 0 &\rightarrow P = C_c' + C_s' - T \\
 &= 3032842,5 \text{ N} + 1274178,14 \text{ N} - 1171918,78 \text{ N} \\
 &= 3135101,86 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } P &> P_b \\
 3135101,86 \text{ N} &> 2777591,46 \text{ N} (\text{ok})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c' (d - d'' - \frac{a}{2}) + C_s' (d - d' - d'') + T \cdot d'' \\
 &= 3032842,5 \text{ N} (440,5 - 190,5 - \frac{237,87}{2}) + 1274178,14 \text{ N} \\
 &\quad (440,5 - 59,5 - 190,5) + 1171918,78 \text{ N} \cdot 190,5 \\
 &= 899489115,8 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ terpasang} &> M_n \\
 899489115,8 \text{ Nmm} &> 94415646 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 12 D19 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut:





Gambar 4. 52 Penampang Kolom K2

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow$  susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow$  perbesar penampang kolom

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times \phi \text{ geser}) - (n \times \phi \text{ lentur})}{n - 1}$$

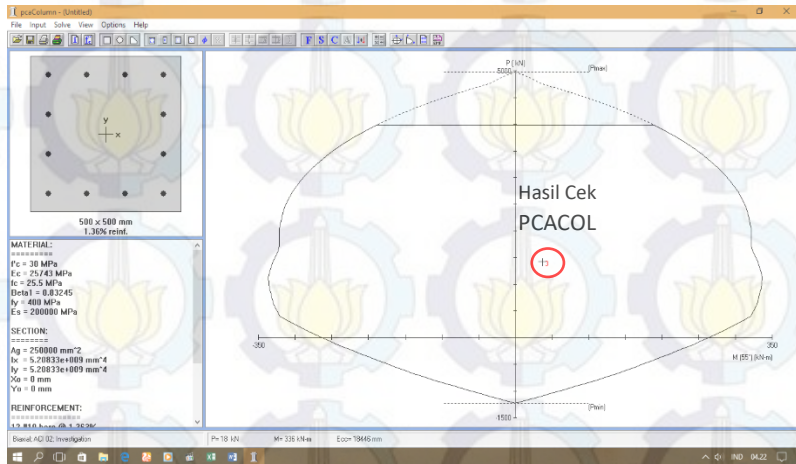
$$S_{\max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$S_{\max} = 108 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$  (memenuhi)  
(maka tulangan lentur disusun 1 lapis)

Cek dengan program pcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

Mutu beton ( $f_c'$ )	= 30 N/mm <sup>2</sup>
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	= 400 N/mm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas	= 25742, 96 N/mm <sup>2</sup>
$\beta_1$	= 0,85
b kolom	= 500 mm
h kolom	= 500 mm
Tulangan Kolom Pasang	= 12 D19



Gambar 4. 53 Grafik Akibat Momen pada PCACOL

## Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615M

Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
# 10	10	71	# 13	13	129	# 16	16	199
# 19	19	284	# 22	22	387	# 25	25	510
# 29	29	645	# 32	32	819	# 36	36	1006
# 43	43	1452	# 57	57	2581			

Confinement: Tied; #10 ties with #32 bars, #13 with larger bars.  
 $\phi(a) = 0.8$ ,  $\phi(b) = 0.9$ ,  $\phi(c) = 0.65$

Layout: Rectangular

Pattern: All Sides Equal (Cover to transverse reinforcement)

Total steel area,  $A_s = 3408 \text{ mm}^2$  at 1.36%

12 #19 Cover = 40 mm

## Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	P <sub>u</sub> kN	M <sub>ux</sub> kN-m	M <sub>uy</sub> kN-m	f <sub>m</sub> x kN-m	f <sub>m</sub> y kN-m	f <sub>m</sub> /M <sub>u</sub>
1	3137.5	5.2	2.1	263.5	107.5	50.470
2	2275.1	2.3	8.3	98.4	322.5	38.851
3	1420.4	21.5	30.5	190.0	269.6	8.838
4	681.1	150.0	61.1	523.9	132.9	2.168

\*\*\* Program completed as requested! \*\*\*

Gambar 4. 54 Hasil Output pada PCACOL

Bersasarkan Output dari pccolumn

 $M_{ux} = 21,5 \text{ kNm} < M_{nx} = 190 \text{ kNm}$  $M_{uy} = 30,5 \text{ kNm} < M_{ny} = 269,6 \text{ kNm}$ 

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 12 D19



Presentase tulangan terpasang:

$$A_{spasang} = 12 \times (1/4 \times \pi \times d^2) \\ = 3402,34 \text{ mm}^2$$

Cek persyaratan :

$$\% \text{ tulangan} = \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ = \frac{3402,34 \text{ mm}^2}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \times 100 \% \\ = 1,36 \% < 8\% \text{ (ok)}$$

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program PCACOL lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual ( $M_u$  manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

## 2. Perhitungan Penulangan Geser Kolom

Data Perencanaan

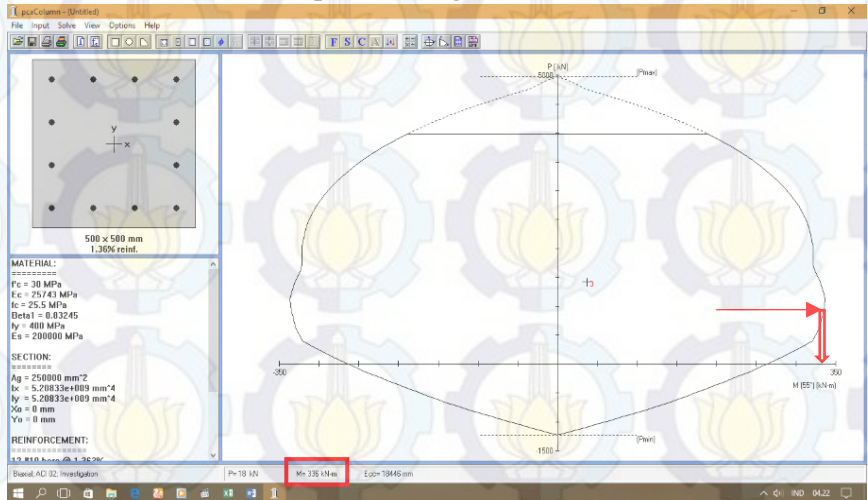
- h kolom : 500 mm
- b kolom : 500 mm
- Tebal selimut beton : 40 mm
- Tinggi kolom : 5000 mm
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 240 Mpa
- Diameter tulangan lentur : 19 mm
- Diameter tulangan geser : 10 mm
- Faktor reduksi : 0,75

(SNI 03-2847-2013 Pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut :

$$P_u = (1,2D + 1,6L) \\ = 1420410,34 \text{ N}$$

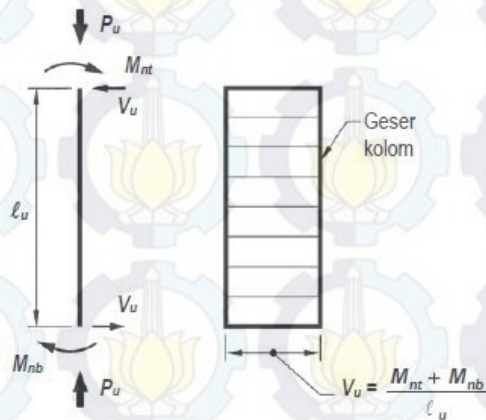
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcacol sebagai berikut :



Gambar 4. 55 Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

$$M_{ut} = 336000000 \text{ Nmm}$$

$$M_{ub} = 336000000 \text{ Nmm}$$



Gambar 4. 56 Lintang Kolom untuk SRPMM



$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \quad (\text{SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5})$$

Dimana :

$M_{nt}$  = Momen nominal atas (top) kolom

$M_{nb}$  = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$M_{nt} = M_{ut}/\phi = 336000000/0,75 = 448000000 \text{ Nmm}$

$M_{nb} = M_{ub}/\phi = 336000000/0,75 = 448000000 \text{ Nmm}$

$V_u = M_{nt} + M_{nb}/l_u = 896000000/5000 = 179200 \text{ N}$

Syarat Kuat Tekan Beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa  
(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} \leq \frac{25}{3}$$

$$5,48 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kekuatan geser pada beton :

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \left[ 1 + \frac{1420410,34 \text{ N}}{14 \times 250000 \text{ mm}^2} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 440,5$$

$$= 288309,36 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$V_{smin} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 500 \times 440,5$$

$$= 73416,67 \text{ N}$$

$$V_{smax} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times 500 \times 440,5$$

$$= 402119,6 \text{ N}$$

$$2V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 440,5$$

$$= 804239,3 \text{ N}$$

Cek kondisi penulangan geser :

**Kondisi 1 :**

$$V_u \leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tidak Perlu Tulangan Geser})$$

$$179200 \text{ N} \geq 108116,01 \text{ N} (\text{tidak memenuhi})$$

**Kondisi 2 :**

$$0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tulangan Geser Minimum})$$

$$108116,01 \text{ N} \leq 179200 \text{ N} \leq 216232,02 \text{ N} (\text{memenuhi})$$

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan

*Kondisi 2. Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ ) :*

$$V_s \text{ perlu} = \emptyset V_s \text{ min} = 0,75 \times 73416,67 = 55062,5 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n \text{ kaki}$$

$$= 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 2$$

$$= 157 \text{ mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s \text{ perlu}} = \frac{157 \times 240 \times 440,5}{55062,5} = 502,65 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan *Kondisi 2*

$$S_{\text{max}} \leq d/2$$

$$502,65 \text{ mm} \leq 440,5 \text{ mm}/2$$

$$502,65 \text{ mm} \geq 220,25 \text{ mm} (\text{tidak memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$502,65 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

Sehingga dicoba pakai tulangan geser  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$

Cek Persyaratan SPRMM untuk Kekuatan Geser Kolom

1). Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $L_o$  dari muka hubungan balok-kolom  $S_o$ . Spasi  $S_o$  tersebut tidak boleh melebihi :

a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \times \emptyset \text{lentur}$$



- $150 \text{ mm} \leq 8 \times 19 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$  (Memenuhi)  
 b) 24 kali diameter sengkang ikat,  
 $S_o \leq 24 \times \varnothing_{\text{sengkang}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (Memenuhi)  
 c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,  
 $S_o \leq 1/2 \times b_w$   
 $150 \text{ mm} \leq 1/2 \times 500 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$  (Memenuhi)  
 d)  $S_o \leq 300 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser tidak memenuhi, Maka Spakai menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 150 mm  
*Maka, dipakai  $S_o$  sebesar  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$ .*

Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- a) Seperenam tinggi bersih kolom,  
 $L_o = 1/6 \times (5000 - 500)$   
 $L_o = 1/6 \times 4500 = 750 \text{ mm}$   
 b) Dimensi terbesar penampang kolom  
 $L_o = 500 \text{ mm}$   
 c)  $L_o > 450 \text{ mm}$

*Maka dipakai  $L_o$  sebesar 750 mm*

- 1) Sehingga dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$  sejarak 750 mm dari muka hubungan balok kolom.
- 2) Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada  $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok kolom.
- 3) Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$ .

Maka pada daerah setelah sejarak  $L_o = 750 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 10 - 150 \text{ mm}$ .

### 3. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 420$  Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 19 \geq 300 \text{ mm}$$

$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 600 mm

### 4. Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D22 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \times \frac{\psi_t\psi_o\psi_s}{\left(\frac{c+ktr}{d_b}\right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400}{1,1 \cdot 1\sqrt{30}} \times \frac{1 \times 1,5 \times 1}{2,5} = 39,83$$

$$l_d = 39,83 \times 19 \text{ mm}$$

$$l_d = 756,77 \text{ mm} \approx 800 \text{ mm}$$

$$F_s = 60\% \times f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_s > f_y \rightarrow l_d \text{ pakai } = 1,3 \times 800 \text{ mm}$$

$$= 1040 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

## 4.2.6 Perhitungan Atap Rangka Baja

### 4.2.6.1 Perhitungan Gording

Adapun data– data perencanaan, dan perhitungan perencanaan gording adalah sebagai berikut

Data-data Perencanaan :

- Sudut kemiringan atap :  $10^\circ$
- Jarak antar kuda-kuda (L) : 8 m
- Jarak antar gording (b) : 1,2 m
- Jumlah penggantung : 2 buah
- Penutup atap : uPVC (Rooftop)
- Berat penutup atap :  $4,2 \text{ kg/m}^2$



- Tekanan tiup angin (W) :  $28 \text{ kg/m}^2$
- BJ 37
- $F_u$  :  $3700 \text{ kg/cm}^2$
- $F_y$  :  $2400 \text{ kg/cm}^2$
- E :  $200000 \text{ Mpa}$
- Direncanakan Profil Gording LLC 150.65.20.3,2
- W :  $7,51 \text{ kg/m}$
- $c_y$  :  $2,11 \text{ cm}$
- $I_x$  :  $332 \text{ cm}^4$
- $I_y$  :  $53,8 \text{ cm}^4$
- $Z_x$  :  $44,3 \text{ cm}^3$
- A :  $150 \text{ mm}$
- B :  $65 \text{ mm}$
- C :  $20 \text{ mm}$
- T :  $3,2 \text{ mm}$

#### ❖ *Pembebanan Gording*

##### 1. **Beban Mati**

- a. Berat sendiri gording = Berat gording  
 $= 7,51 \text{ kg/m}$   $= 7,51 \text{ kg/m}$
- b. Berat penutup atap = uPVC x jarak antar gording  
 $= 4,2 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m}$   $= 5,04 \text{ kg/m} +$
- c. Total  $= 12,55 \text{ kg/m}$
- d. Lain-Lain =  $10\% \times \text{Berat total}$   
 $= 10\% \times 12,55 \text{ kg/m}$   $= 1,255 \text{ kg/m} +$
- e. Total (Qd)  $= 13,805 \text{ kg/m}$
- f. Beban mati arah X ( $Q_{dx}$ ) =  $Q_d \times \cos \alpha$   
 $= 13,805 \text{ kg/m} \times \cos 10^\circ$   $= 13,596 \text{ kg/m}$
- g. Beban mati arah Y ( $Q_{dy}$ ) =  $Q_d \times \sin \alpha$   
 $= 13,805 \text{ kg/m} \times \sin 10^\circ$   $= 2,397 \text{ kg/m}$

##### 2. **Beban Hidup**

- a. Beban Pekerja (P) =  $100 \text{ kg}$
- b. Beban pekerja Arah X ( $P_x$ ) =  $P \times \cos \alpha$   
 $= 100 \text{ kg} \times \cos 10^\circ = 98,48 \text{ kg}$

- c. Beban pekerja Arah Y ( $P_y$ ) =  $P \times \sin \alpha$   
 $= 100 \text{ kg} \times \sin 10^\circ = 17,36 \text{ kg}$
- d. Hujan ( $Q$ ) =  $40 - (0,8 \times \alpha) \times b$   
 $= 40 - (0,8 \times 10) \times 1,2 = 38,2 \text{ kg/m}^2$   
 $\therefore$  beban tidak boleh  $> 20 \text{ kg/m}^2$  maka diambil  $20 \text{ kg/m}^2$   
 $Q_h = 20 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} = 24 \text{ kg/m}$
- e. Beban hujan Arah X ( $Q_{hx}$ ) =  $Q_h \times \cos \alpha$   
 $= 24 \text{ kg} \times \cos 10^\circ = 23,64 \text{ kg}$
- f. Beban hujan Arah Y ( $Q_{hy}$ ) =  $Q_h \times \sin \alpha$   
 $= 24 \text{ kg} \times \sin 10^\circ = 4,17 \text{ kg}$

### 3. Beban Angin

1. Angin Tekan ( $W_d$ )  
 $\text{Koef} = ((0,02 \times 10^0) - 0,4) = -0,2$   
 $W_d = \text{koef} \times W \times b = -0,2 \times 28 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} = -6,72 \text{ kg/m}$
2. Angin Hisap ( $W_p$ )  
 $\text{Koef} = -0,4$   
 $W_d = \text{koef} \times W \times b = -0,4 \times 28 \text{ kg/m}^2 \times 1,2 \text{ m} = -13,44 \text{ kg/m}$

### ❖ Momen yang bekerja pada Gording

#### 1. Akibat Beban Mati ( $M_d$ )

- a. Arah x ( $M_{dx}$ ) =  $1/8 * Q_{dx} * (L^2)$   
 $= 1/8 * 13,596 \text{ kg/m} * (8 \text{ m})^2 = 108,76 \text{ kgm}$
- b. Arah y ( $M_{dy}$ ) =  $1/8 * Q_{dy} * ((L/3)^2)$   
 $= 1/8 * 2,397 \text{ kg/m} * (8/3 \text{ m})^2 = 0,00101 \text{ kgm}$

#### 2. Akibat Beban Hidup

##### ❖ Pekerja ( $M_p$ )

- a. Arah x ( $M_{px}$ ) =  $1/8 * P_x * (L)^2$   
 $= 1/8 * 98,48 \text{ kg/m} * (8 \text{ m})^2 = 1575,69 \text{ kgm}$
- b. Arah y ( $M_{py}$ ) =  $1/8 * P_y * ((L/3)^2)$   
 $= 1/8 * 17,36 \text{ kg/m} * (8/3 \text{ m})^2 = 30,9 \text{ kgm}$

##### ❖ Hujan ( $M_{la}$ )

- a. Arah x ( $M_{lax}$ ) =  $1/8 * Q_{hx} * (L)^2$   
 $= 1/8 * 23,64 \text{ kg/m} * (1,2 \text{ m})^2 = 4,25 \text{ kgm}$
- b. Arah y ( $M_{lay}$ ) =  $1/8 * Q_{hy} * ((L/3)^2)$



$$= 1/8 * 4,17 \text{ kg/m} * (1,2/3\text{m})^2 = 3,7 \text{ kgm}$$

### 3. Akibat Beban angin(Mw)

a. Arah x (Mwx) =  $1/8 * W_{dx} * (L^2)$

$$= 1/8 * 6,72 \text{ kg/m} * (8\text{m})^2 = 107,52 \text{ kgm}$$

b. Arah y (Mwy) = 0 (Momen akibat angin hisap tidak perlu dihitung karena mamperingan struktur.)

#### ❖ *Pembebanan tetap*

$$M_u = 1,0 D + 1,0 L$$

- $M_{ux} = (108,76 \text{ kgm} + 196,96 \text{ kgm}) \times 10000$   
 $= 3057237,2 \text{ Nmm} = 305,72 \times 10^4 \text{ Nmm}$
- $M_{uy} = (0,001 \text{ kgm} + 30,9 \text{ kgm}) \times 10000$   
 $= 308718,01 \text{ Nmm} = 30,87 \times 10^4 \text{ Nmm}$

#### ❖ *Pembebanan sementara*

$$M_u = 1,0 D + 1,0 L + 1,0 W$$

- $M_{ux} = (108,76 \text{ kgm} + 196,96 \text{ kgm} + 107,52 \text{ kgm}) \times 10000$   
 $= 4132437,2 \text{ Nmm} = 413,24 \times 10^4 \text{ Nmm}$
- $M_{uy} = (0,001 \text{ kgm} + 30,9 \text{ kgm} + 0 \text{ kgm}) \times 10000$   
 $= 308718,01 \text{ Nmm} = 30,87 \times 10^4 \text{ Nmm}$

(Menentukan)

#### ❖ *Cek Kelangsingan*

$$\lambda_f = b / 2 t_f = 65 \text{ mm} / 2 \times 3,2 \text{ mm} = 10,15$$

$$\lambda_p = 170 / f_y^{0,5} = 170 / 240^{0,5} = 10,97$$

$$\lambda_w = h / t_w = 150 \text{ mm} / 3,2 \text{ mm} = 46,875$$

$$\lambda_p = 1680 / f_y^{0,5} = 1680 / 240^{0,5} = 108,4435$$

$$\lambda_f < \lambda_p \quad (\text{OK})$$

$$\lambda_w < \lambda_p \quad (\text{OK})$$

Penampang dikatakan kompak

❖ *Kontrol Kekuatan Penampang Lentur*

Kontrol Interaksi

$$\left\{ \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} \right\} + \left\{ \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right\} < 1$$

Sumbu x

$$M_{nx} = Z_x \cdot f_y = 44,3 \text{ cm}^3 \times 2400 \text{ kg/cm}^2 = 1063,2 \text{ kgm}$$

Sumbu y

$$M_{ny} = Z_y \cdot f_y = 12,2 \text{ cm}^3 \times 2400 \text{ kg/cm}^2 = 292,8 \text{ kgm}$$

Jadi,

$$\left\{ \frac{445,653 \text{ kgm}}{0,9 \times 1063,2 \text{ kgm}} \right\} + \left\{ \frac{5,928 \text{ kgm}}{0,9 \times 292,8 \text{ kgm}} \right\} < 1$$

$$0,488 < 1 \quad \text{OK}$$

Penampang cukup kuat untuk menerima beban yang terjadi pada atap.

❖ *Tinjauan terhadap modulus penampang elastis*

$$\frac{M_{ux}}{S_x} + \frac{M_{uy}}{S_x} \leq \phi b \cdot f_y$$

Dimana,

S<sub>x</sub> = Pada tabel profil baja

$$\phi b = 0,90$$

$$f_y = 240 \text{ MPa}$$

$$M_{ux} = 4132437,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 308718,01 \text{ Nmm}$$

$$\frac{4132437,2 \text{ Nmm}}{44300 \text{ mm}^3} + \frac{308718,01 \text{ Nmm}}{44300 \text{ mm}^3} \leq 0,9 \times 240 \text{ N/mm}^2$$

$$100,25 \text{ N/mm}^2 \leq 216 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$



❖ *Kontrol terhadap bahan dan tegangan*

$$q = 13,59 \text{ kg/m} + 98,48 \text{ kg/m} + 20 \text{ kg/m} - 6,72 \text{ kg/m} \\ = 118,79 \text{ kg/m}$$

- Terhadap lendutan / kekakuan

$$\Delta = \frac{5 \cdot M_{ux} \cdot L_x^2}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 1,19 \text{ kg/cm} \cdot 800 \text{ cm}^2}{384 \cdot 20000 \text{ kg/cm}^2 \cdot 332 \text{ cm}^4} \\ = 1,76 \text{ cm}$$

$$L/360 = 800 \text{ cm} : 360 = 2,22 \text{ cm}$$

$$1,76 \text{ cm} < 2,22 \text{ cm}$$

**OK**

- Terhadap momen

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} < \bar{\sigma}$$

$$\sigma = \frac{11103,2 \text{ kg/cm}}{44,3 \text{ cm}^3} = 250,64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 1600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

**OK**

- Terhadap geser

$$\tau = \frac{D}{A} < \bar{\tau} = 0,58 \times \bar{\sigma}$$

$$\tau = \frac{555,16 \text{ kg}}{9,567 \text{ cm}^2} = 58,03 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\bar{\tau} = 0,58 \times 1600 = 928 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$58,03 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 928 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{OK}$$

Maka digunakan gording dengan profil LLC 150.65.20.3,2

#### 4.2.6.2 Perhitungan Penggantung Gording

Data perencanaan

- Berat gording = 7,51 Kg/m
- Jarak antar gording ( $b_1$ ) = 1,2 m
- Jarak penggantung ( $L_1$ ) = 2 m
- Jumlah gording ( $n$ ) = 31 buah

- Jumlah penggantung = 3 buah
- Penutup atap rooftop = 4,2 kg/m<sup>2</sup>

#### A. Perhitungan beban

- Beban mati

- Berat gording =  $W_{\text{gording}} \times (L)$   
 $= 7,51 \text{ kg/m} \times (2 \text{ m})$   
 $= 15,2 \text{ kg}$
- Berat atap =  $\text{Rooftop} \times (L) \times \text{jarak antar gording}$   
 $= 4,2 \text{ kg/m}^2 \times (2 \text{ m}) \times 1,2 \text{ m}$   
 $= 10,08 \text{ kg}$
- Berat lain-lain =  $10\% \times (\text{Berat gording} + \text{Berat atap}) \text{ kg}$   
 $= 10\% \times (15,2 \text{ kg} + 10,08 \text{ kg})$   
 $= 2,51 \text{ kg}$
- Berat total =  $\text{Berat gording} + \text{Berat atap} + \text{Berat lain}$   
 $= 15,2 \text{ kg} + 10,08 \text{ kg} + 2,51 \text{ kg}$   
 $= 27,61 \text{ kg}$

- Beban hidup

- Beban pekerja (terpusat) = 96 kg
  - Beban air hujan (merata) =  $(40 - 0,8 \times 30^\circ) = 33,08 \text{ kg/m}^2$
- PPIUG 1983 Pasal 3.2.2. nilai beban hujan =  $(40 - 0,8 \times \alpha)$ , dengan ketentuan bahwa beban air hujan tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m<sup>2</sup> dan tidak perlu ditinjau apabila kemiringan atapnya lebih besar dari 50°

Maka beban hujan yang di ambil adalah 20 kg/m<sup>2</sup>, sehingga :

- Beban hujan =  $20 \text{ kg/m}^2 \times (8 \text{ m}/4)$   
 $= 20 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m}$   
 $= 40 \text{ kg/m}$

Beban hidup di ambil yang terbesar diantara beban pekerja dengan beban air hujan, sehingga dari perhitungan di atas beban yang di pakai adalah beban pekerja yaitu 100 kg.



- Beban angin

Bangunan terletak jauh dari pantai, sesuai dengan ketentuan PPIUG 1983 Pasal 4.2.1. Tekanan angin harus di ambil minimum sebesar  $25 \text{ kg/m}^2$ . Menurut BMKG lokasi pusat perbelanjaan ini berada pada tekanan angin  $28 \text{ kg/m}^2$

1. Angin Tekan ( $W_d$ )

$$\text{Koef} = ((0,02 \times 10^0) - 0,4) = -0,2$$

$$W_d = \text{koef} \times W \times b = -0,2 \times 28 \text{ kg/m}^2 \times 1,2\text{m} = -6,72 \text{ kg/m}$$

2. Angin Hisap ( $W_p$ )

$$\text{Koef} = -0.4$$

$$W_d = \text{koef} \times W \times b = -0.4 \times 28 \text{ kg/m}^2 \times 1,2\text{m} = -13,44 \text{ kg/m}$$

- Beban angin menentukan  $= 2 \times 13,44 = 26,88 \text{ kg/m}$   
(di ambil yang terbesar antara angin tekan dan angin hisap)

- Kombinasi pembebanan

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 W_d + 1,6 W_L \\ &= (1,2 \times 27,61 \text{ kg}) + (1,6 \times 96 \text{ kg}) \\ &= 186,732 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Perhitungan dimensi penggantung gording

$$W \text{ total} = 186,732 \text{ kg} \times 31 \text{ buah} = 5788,692 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W_u' &= \frac{W \text{ total}}{\sin 30^\circ} \\ &= \frac{5788,692 \text{ kg}}{0,5} \end{aligned}$$

$$= 11251,19 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_u &= W_u' \\ &= 11251,19 \text{ kg} \end{aligned}$$

## B. Kontrol

- Tinjauan terhadap leleh :

$$\begin{aligned} P_u &= \phi A_g f_y \\ A_g &= \frac{P_u}{\phi f_y} \\ &= \frac{11251,19 \text{ kg}}{0,9 \times 2400 \text{ kg/cm}^2} \end{aligned}$$

$$= 52,08 \text{ mm}^2$$

- Tinjauan terhadap putus :

$$\begin{aligned} P_u &= 0,75 \phi Ag \cdot f_y \\ Ag &= \frac{P_u}{0,75 \phi f_u} \\ &= \frac{11251,19 \text{ kg}}{0,75 \times 0,9 \times 3700 \text{ kg/cm}^2} \\ &= 54,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Ag menentukan :

Ag leleh < Ag putus, maka Ag menentukan adalah Ag leleh

$$Ag = \left( \frac{0,25 \times P_u \times 22}{7} \right)^{0,5} = 8,14 \text{ mm}$$

- Direncanakan diameter besi penggantung gording 10 mm

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (10 \text{ mm})^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Ag perlu} & < & \text{A rencana} \\ 52,08 \text{ mm}^2 & < & 78,5 \text{ mm}^2 \end{array}$$

**OK**

#### C. Kontrol Tegangan

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (10 \text{ mm})^2 \\ &= 78,5 \text{ mm}^2 \\ \sigma &= N / A \\ &= 1094,72 \text{ kg / } 0,785 \text{ cm}^2 \\ &= 1394,55 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma &\leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \\ 1394,55 \text{ kg/cm}^2 &\leq 1600 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

**OK**

#### D. Kontrol Kelangsingan

$$\text{Jarak miring} = ((b^2) + (L1^2))^{0,5} = 2332,4 \text{ mm}$$

$$D > L/500$$



$$10 \text{ mm} > 2332,4 \text{ mm}/500$$

$$10 \text{ mm} > 4,66 \text{ mm}$$

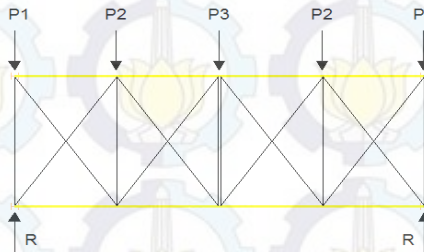
**OK**

Maka digunakan penggantung gording diameter 10 mm.

#### 4.2.6.3 Perhitungan Ikatan Angin Atap

##### A. Data Perencanaan

- Jarak antar gording (b) = 1,2 m
- Sudut kemiringan ( $\alpha$ ) =  $10^0$
- Tekanan tiup (W) =  $28 \text{ kg/m}^2$
- Tinggi kolom (h1) = 12 m



##### B. Perhitungan

- Perhitungan ketinggian
  - Hk (h1) = 12 m
  - H2 =  $h1 + (\text{tg} \alpha \times 4)$  ... Pers. 3.1  
 $= 12 \text{ m} + (\text{tg } 30^0 \times 4 \text{ m})$   
 $= 12,705 \text{ m}$
  - H3 =  $h2 + (\text{tg} \alpha \times 4)$  ... Pers. 3.2  
 $= 12,705 \text{ m} + (\text{tg } 30^0 \times 4 \text{ m})$   
 $= 14,116 \text{ m}$
- Perhitungan gaya - gaya
  - W angin =  $28 \text{ kg/m}^2$  (BMKG Jatim)
  - Koef. (C) = 1,2 (asumsi bangunan tertutup)

- Koef. angin tekan = 0,9 (dinding vertikal dipihak angin)

- Jarak datar gording

$$b1 = 4 \text{ m}$$

$$b2 = 8 \text{ m}$$

- Luas Trapesium

$$A1 = ((h1+h2)/2) \cdot b1 = 49,410 \text{ m}^2$$

$$A2 = ((h2+h3)/2) \cdot b2 = 107,285 \text{ m}^2$$

$$qw = c \times w \times b1$$

$$qw = 1,2 \times 28 \text{ kg/m}^2 \times 4 \text{ m}$$

$$qw = 134,4 \text{ kg/m}$$

$$P = A1 \times qw \times c = 5976,708 \text{ kg}$$

$$P1 = P \times \frac{1}{2}$$

$$P1 = 5976,708 \text{ kg} \times \frac{1}{2}$$

$$P1 = 2988,35 \text{ kg}$$

$$P = A2 \times qw \times c = 12977,185 \text{ kg}$$

$$P2 = P \times \frac{1}{2}$$

$$P2 = 12977,185 \text{ kg} \times \frac{1}{2}$$

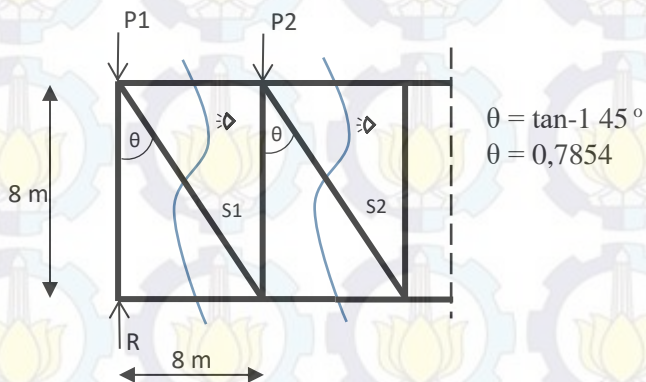
$$P2 = 6488,59 \text{ kg}$$

$$R = P1 + P2$$

$$R = 2988,35 \text{ kg} + 6488,59 \text{ kg} / 2$$

$$R = 4738,47 \text{ kg}$$

• Metode Ritter





- Batang 1

$$\sum v = 0$$

$$0 = R - P1 - S1 \times \cos \theta$$

$$S1 = (R - P1) / \cos \theta$$

$$S1 = (4738,47 \text{ kg} - 2988,35 \text{ kg}) / 0,7854$$

$$S1 = 2475,042 \text{ kg (tarik)}$$

- Batang 2

$$\sum v = 0$$

$$0 = R - S1 - S2 - S2 \times \cos \theta$$

$$S2 = (R - P1 - P2) / \cos \theta$$

$$S1 = (4738,47 \text{ kg} - 2988,35 \text{ kg} - 6488,59 \text{ kg}) / 0,7854$$

$$S2 = -6701,21 \text{ kg (tarik)}$$

maka gaya tarik yang menentukan adalah

$$Pu = 2475,04 \text{ kg (tarik)}$$

• Perencanaan Batang Tarik

- Untuk batas leleh

$$Pu = \sigma_y \cdot fy \cdot Ag, \text{ dengan } \sigma_y = 0,9$$

$$Ag = 2475,04 \text{ kg} / 0,9 \times 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ag = 1,145 \text{ cm}^2$$

- Untuk batas putus

$$Pu = \sigma_u \cdot fu \cdot Ag, \text{ dengan } \sigma_u = 0,75$$

$$Ag = 2475,04 \text{ kg} / 0,75 \times 3700 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ag = 1,18 \text{ cm}^2$$

Ag yang menentukan adalah yang terkecil,

$$Ag = 1,145 \text{ cm}^2 = 114,59 \text{ mm}^2$$

$$D = \sqrt{4 \times Ag / \pi}$$

$$= \sqrt{4 \times 114,5 \text{ mm}^2 / 3,14} = 12,08 \text{ mm}$$

digunakan d = 19 mm

- Kontrol Tegangan

Digunakan diameter = 1,9 cm = 19 mm

$$\sigma = P_u / A = 2475,04 \text{ kg} / 0,25 \times 3,14 \times (1,9 \text{ cm})^2$$

$$= 872,722 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma \leq 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$872,7 \text{ kg/cm}^2 \leq 1600 \text{ kg/cm}^2$$

- Kontrol kelangsingan

Syarat

$$L = \sqrt{(6000^2 + 4000^2)} = 8000 \text{ mm}$$

$$D > L/500$$

$$19 \text{ mm} > 16 \text{ mm}$$

**OK**

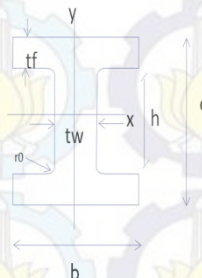
Dari perhitungan di atas, digunakan diameter ikatan angin 19 mm.

#### 4.2.6.4 Perhitungan Kuda-kuda

##### A. Data Perencanaan:

- Jarak antar kuda-kuda = 8 m
- Bentang kuda-kuda = 76 m
- Berat penutup atap = 4,2 kg/m<sup>2</sup>
- Berat gording = 9,2 kg/m
- Jarak antar gording = 1,2 m
- Fy = 2400 kg/cm<sup>2</sup>
- Fu = 3700 kg/cm<sup>2</sup>
- Direncanakan profil kuda-kuda WF 500.200.10.16

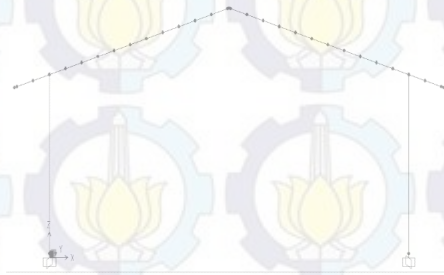
- W = 89,7 kg/m
- d = 500 mm
- b = 200 mm
- tw = 10 mm
- tf = 16 mm
- Ag = 114,2 cm<sup>2</sup>





- $I_x = 47800 \text{ cm}^4$
- $I_y = 2140 \text{ cm}^4$
- $i_x = 20,5 \text{ cm}$
- $i_y = 4,33 \text{ cm}$
- $Z_x = 1910 \text{ cm}^3$
- $Z_y = 214 \text{ cm}^3$

#### B. Mekanika:



Momen ultimate yang terjadi di kuda – kuda adalah akibat beban kombinasi :  $1,2 D + 1,6 L + 0,5 W$  dengan momen sebesar 228852,48 kgm.

Direncanakan profil kuda – kuda : WF 500.200.10.16

➤ Hitung Momen nominal ( $M_n$ ) pengaruh local buckling

• Syarat kelangsingan profil :

Flens / Sayap

$\lambda$	<	$\lambda_p$
$b_f / 2 \times t_f$	<	$170 / \sqrt{f_y}$
$200 \text{ mm} / 2 \times 16 \text{ mm}$	<	$170 / \sqrt{240}$
6,25	<	10,97 <b>OK</b>

Web / Badan

$\lambda$	<	$\lambda_p$
$h / t_w$	<	$1680 / \sqrt{f_y}$
$500 \text{ mm} / 10 \text{ mm}$	<	$1680 / \sqrt{240}$
50	<	108 <b>OK</b>

Dari hasil perhitungan syarat kelangsingan, maka profil penampang kompak.

• Periksa Gaya Aksial Penampang

$$N_u = 50152,03 \text{ kg}$$

$$A_g = 11420 \text{ mm}^2$$

$$N_y = A_g \cdot f_y$$

$$N_y = 11420 \text{ mm}^2 \times 240 \text{ N/mm}^2$$

$$N_y = 795333,55 \text{ N}$$

$$N_y = 795333,5 \text{ kg}$$

$$N_u / \phi_b \cdot N_y = 0,0295$$

$$N_u / \phi_b \cdot N_y < 0,2$$

$$0,074 < 0,2$$

**OK**

• Periksa Momen Nominal Penampang :

Karena profil penampang kompak, maka tahanan momen nominal ( $M_n$ ) = tahanan momen nominal plastis ( $M_p$ ).

$$M_u = 228852,48 \text{ kgm}$$

$$Z_x = 1910 \text{ cm}^3$$

$$M_n = Z_x \times f_y$$

$$= 1910 \text{ cm}^3 \times 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 45840 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 45840 \text{ kgm}$$

$$= 40932 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n < M_u$$

$$40932 \text{ kgm} < 228852,48 \text{ kgm}$$

**OK**

➤ Hitung Momen nominal ( $M_n$ ) pengaruh tekuk torsi lateral

• Cek komponen struktur :

a.  $L \leq L_p$  = Bentang pendek



b.  $L_p \leq L \leq L_r$  = Bentang menengah

c.  $L_r \leq L$  = Bentang panjang

Tabel 4. 8 Bentang Untuk Pengekangan Lateral

Profil	$L_p$	$L_r$
Profil-I dan kanal ganda	$1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ dengan $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$ adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah	$r_y \left[ \frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$ dengan $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{E G J A}{2}}$ $X_2 = 4 \left( \frac{S}{G J} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$ $I_w$ adalah konstanta puntir lengkung $J$ adalah konstanta puntir torsi

Diketahui:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 43.28 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,76 \times 43,28 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 2207,472 \text{ mm}$$

$$L = 38586,21 \text{ mm} > L_p = 2207,472 \text{ mm} \quad (\text{Periksa } L_r)$$

$$G = E/(2(1+\nu)) = 76923,1 = 80000 \text{ untuk } \nu = 0,3$$

$$J = \frac{1}{3} 2 b t f^3 + (h - t f) \cdot t w^3$$

$$= \frac{1}{3} 2(200 \text{ mm})(16 \text{ mm})^3 + (300 \text{ mm} - 16 \text{ mm})(10 \text{ mm})^3$$

$$J = 439733,3 \text{ mm}^4$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} = \frac{\pi}{424000} \sqrt{\frac{(200.000) \times (80.000) \times (439733.3) \times (11420)}{2}} = 10425,3164 \text{ Mpa}$$

$$I_f = 1/12 \cdot b^3 \cdot t f = 27462,5 \text{ mm}^4$$

$$X_2 = 4 \left( \frac{S}{G J} \right)^2 \frac{C_w}{I_y} = 4 \left( \frac{424.000}{(80.000) \times (14.439733.3)} \right)^2 (10.000) =$$

$$1.837 \times 10^{-8} \text{ mm}^4/\text{N}^2$$

$$Lr = r_y \left( \frac{X_1}{f_l} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot f_l^2}}$$

$$= 32,914 \left( \frac{21942,08}{170} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{4,122}{10^7} \cdot 170^2}} = 530,94 \text{ mm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa :  $Lr < L = 530,94 \text{ mm} < 38586,21 \text{ mm}$  (Termasuk Bentang panjang)

$$C_b = \frac{12,5 M_{max}}{2,5 M_{max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C}$$

$$M_{max} = 228852,48 \text{ kgm}$$

$$M_A = 44723,03 \text{ kgm}$$

$$M_B = 71627,7 \text{ kgm}$$

$$M_C = 128235,28 \text{ kgm}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 228852,48 \text{ kgm}}{2,5 \times 228852,48 + 3 \times 44723,03 + 4 \times 71627,7 + 3 \times 128235,28}$$

$$C_b = 2,076 \leq 2,3 \text{ diambil } 2,076$$

$$M_p = f_y \times Z_x = 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 1910000 \text{ mm}^3 = 458400000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{C_b \times \pi}{L} \sqrt{E \times I_y \times G \times J + \frac{\pi \times E^2}{L} \times I_y \times C_w}$$

$$= 28338423,85 \text{ Nmm}$$

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $Lr < L$ , kuat nominal struktur terhadap lentur adalah

$$M_n \leq M_p$$

$$28338423,85 \text{ Nmm} \leq 458400000 \text{ Nmm}$$

Maka diambil  $M_n = 458400000 \text{ Nmm}$

$$\text{Syarat : } \mu_u \leq \phi_b \times M_n$$

$$2288524800 \text{ Nmm} \leq 0,9 \times 458400000 \text{ Nmm}$$

$$2288524800 \text{ Nmm} \leq 412560000 \text{ Nmm}$$

**OK**

- Desain LRFD untuk balok

Kondisi tumpuan adalah jepit – sendi, maka  $K = 0,8$



Arah sumbu kuat (sumbu x) :

$$\lambda x = L \times k / i x = 150,5803366$$

$$\lambda c x = (\lambda x / \pi) \times \sqrt{(f_y / E)} = 1,660385813$$

$$\text{karena } \lambda c x \geq 1,2 \text{ maka } w = 1,25 \cdot \lambda c x^2$$

$$w = 1,25 \times \lambda c x^2 = 3,44610131$$

$$N_n = A_g \times f_y / w = 795333,5534$$

$$N_u / (\phi t \times N_n) = 0,022324914 < 1$$

**OK**

- **Momen Pembesaran**

Karena tidak ada beban transversal diantara kedua tumpuannya, namun memiliki momen ( $M_1 < M_2$ ) di kedua tumpuannya, maka nilai  $C_m$  adalah :

$$C_m = 0,6 - 0,4 (M_1 / M_2) = 0,36$$

$$N_{c r b} = (\pi^2 \cdot E \cdot A_g) / \lambda c = 994166,9418 \text{ N}$$

$$\delta b = C_m / (1 - (N_u / N_{c r b})) = 0,38 < 1, \text{ maka diambil } \delta b = 1$$

$$M_{u y} = \delta b \cdot M_{n t y 2} = 228852,48 \text{ kgm} = 2288524800 \text{ Nmm}$$

- **Periksa Rumus Interaksi**

Bila  $N_u / (\phi t \times N_n) = 0,074 < 0,2$ , maka persamaan interaksi :

$$\frac{N_u}{2 \cdot \phi t \cdot N_n} + \left( \frac{M_{u x}}{\phi b \cdot M_{n x}} + \frac{M_{u y}}{\phi b \cdot M_{n y}} \right) < 1$$

(Persamaan 7.4-7b SNI 03-1729-2012)

Momen arah x diabaikan karena kecil

$$\frac{N_u}{2 \cdot \phi t \cdot N_n} + \frac{M_{u y}}{\phi b \cdot M_{n y}} < 1$$

$$\frac{501520,3 \text{ N}}{2 \cdot 0,85 \cdot 795333,5534 \text{ N}} + \frac{2288524800 \text{ Nmm}}{0,9 \cdot 28338423,85 \text{ Nmm}} < 1$$

$$0,37 < 1$$

**OK**

- **Kontrol Lendutan :**

$$\Delta x = \frac{5 \cdot M_{u x} \cdot L x^2}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 2288524800 \cdot 3858621^2}{384 \cdot 2000000 \cdot 47800} = 92,81 \text{ mm}$$

Cek:

$$\Delta \leq L/240$$

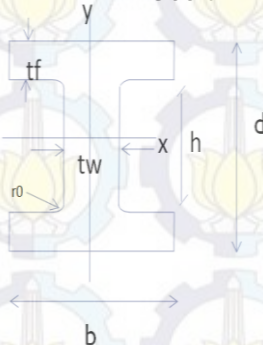
$$92,81 \text{ mm} \leq 160,77 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Maka profil WF 500.200.10.16 dapat digunakan

#### 4.2.6.5 Perhitungan Kolom

Data Perencanaan

- $F_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$
- $L = 6500 \text{ cm}$
- $E = 2000000 \text{ Kg/cm}^2$
- Profil WF 350.350.12.19
  - $W = 28 \text{ Kg/m}$
  - $h = 312 \text{ mm}$
  - $d = 350 \text{ mm}$
  - $tw = 12 \text{ mm}$
  - $tf = 19 \text{ mm}$
  - $A_g = 17390 \text{ mm}^2$
  - $I_x = 40300 \text{ cm}^4$
  - $I_y = 13600 \text{ cm}^4$
  - $i_x = 15,2 \text{ cm}$
  - $i_y = 8,84 \text{ cm}$
  - $W_x = 2300 \text{ cm}^3$
  - $W_y = 776 \text{ cm}^3$
  - $Z_x = 2300 \text{ cm}^3$





## A. Mekanika



## B. Perhitungan

Diketahui:

$$N_u = 87459 \text{ kg}$$

$$M_{u1} = 64325,29 \text{ kg.m}$$

$$M_{u2} = 172472,08 \text{ kg.m}$$

Menggunakan BJ 37 (berdasarkan SNI 03-1729-2015)

Tabel 4. 9 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan leleh minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

- Kontrol kelangsingan penampang

Flens / Sayap

$$b_f / 2 \times t_f < 170 / \sqrt{f_y}$$

$$150\text{mm} / 2 \times 13\text{mm} < 170 / \sqrt{240}$$

$$9,2 < 10,97$$

**OK**

Web / Badan

h / tw

&lt;

$$1680 / \sqrt{f_y}$$

300mm/ 8mm

&lt;

$$1680 / \sqrt{240}$$

29,167

&lt;

$$108,44$$

**OK**

Dalam arah y kolom diasumsikan tertumpu sendi-jepit atas dan bawahnya sehingga  $k_y = 1$

$$\begin{aligned}\lambda_x &= \frac{k_x \cdot L_x}{i_x} \\ &= \frac{0,65 \cdot 6500 \text{ cm}}{15,2 \text{ cm}} \\ &= 27,796\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_y &= \frac{k \cdot L_y}{i_y} \\ &= \frac{0,65 \cdot 6500 \text{ cm}}{8,84 \text{ cm}} \\ &= 47,794\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{cy} &= \frac{k_y \cdot L_y}{\pi \cdot i_y} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{47,794}{3,14} \times \sqrt{\frac{2400 \text{ Kg/cm}^2}{2000000 \text{ Kg/cm}^2}} \\ &= 0,53\end{aligned}$$

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \quad \text{maka } \omega = 1 \quad (7.6-5a)$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \quad \text{maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \quad (7.6-5b)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \quad \text{maka } \omega = 1,25 \lambda_c^2 \quad (7.6-5c)$$

Pasal 7, SNI 03 – 1726 – 2012

Karena  $0,25 < \lambda_{cx} < 1,2$  maka,  
 $\omega_x = 1,43 / (1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cx})$   
 $= 1,146$

$N_n = A_g \times f_{cr}$

$$\begin{aligned}&= 17390 \text{ mm}^2 \times \frac{2400 \text{ Kg/cm}^2}{1,146} \\ &= 3639222,4 \text{ kg} = 3639,2 \text{ ton}\end{aligned}$$

$N_u = 87459 \text{ kg} = 87,5 \text{ ton}$

dari analisa SAP , di ambil nilai yang terbesar.



$$\begin{array}{rcl}
 \frac{Nu}{\phi N_n} & < & 1 \\
 \frac{87,5 \text{ ton}}{0,85 \times 3639,2 \text{ ton}} & < & 1 \\
 0,028 & < & 1 \quad \text{(OK)}
 \end{array}$$

- Perbesaran Momen,  $\delta b$

$$\begin{aligned}
 Cm &= 0,6 - 0,4 \frac{M1}{M2} \\
 Cm &= 0,6 - 0,4 \frac{64325,29}{172472,08}
 \end{aligned}$$

$$Cm = 0,451$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 E \cdot Ag}{(k \frac{L}{r})^2}$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 200000 \frac{N}{mm^2} 17390 \text{ mm}^2}{(51,316)^2}$$

$$N_{el} = 12359443,76 \text{ kg}$$

$$\delta b = \frac{C_m}{1 - \frac{Nu}{N_{el}}}$$

$$\delta b = \frac{0,451}{1 - \frac{87,5 \text{ ton}}{12359,4 \text{ ton}}}$$

$$\delta b = 0,451 < 1,0$$

$$\text{Ambil } \delta b = 1,0$$

$$M_{uy} = \delta b \cdot M_{nt2} = 172472,08$$

$$\frac{Nu}{2 \cdot \phi t \cdot N_n} + \frac{M_{uy}}{\phi b \cdot M_{ny}} < 1$$

(momen x di abaikan karena = 0)

$$\begin{aligned}
 \frac{874590 \text{ kg}}{2 \cdot 0,85 \cdot 3639222,4 \text{ kg}} + \frac{172472,08 \text{ kg}}{0,9 \cdot 71869,2 \text{ kg}} &< 1 \\
 0,141 &< 1 \quad \text{(ok)}
 \end{aligned}$$

- **Kontrol Tegangan**

Mu terjadi = 24064.08 kg.m

$$\omega \frac{Nu}{Ag} + \frac{2M}{3W} < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$1.146 \frac{87,5 \text{ ton}}{17390 \text{ mm}^2} + \frac{2.172,5 \text{ ton.m}}{3.136 \text{ kg/m}} < 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$585,23 \text{ kg/cm}^2 < 1600 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{ok})$$

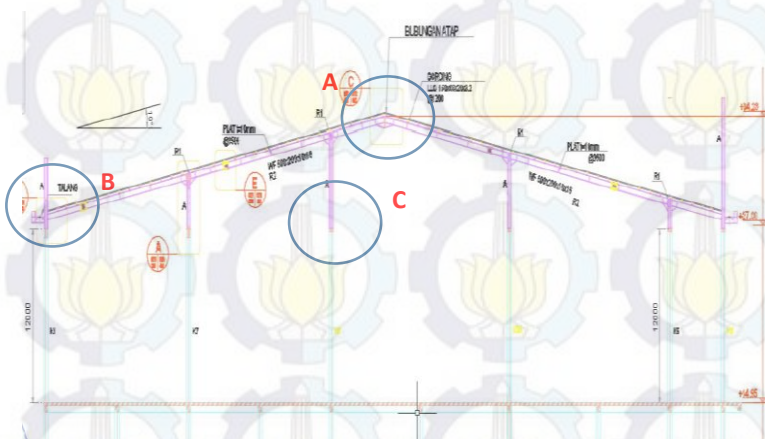
- **Kontrol Lendutan**

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{5 \cdot M_{uy} \cdot L^2}{384 \cdot E \cdot I_x} < L/240 \\ &= \frac{5 \cdot 172472,08 \cdot 6500^2}{384 \cdot 200000 \cdot 40300} < L/240 \\ &= 11,77 \text{ mm} < 27,1 \text{ mm} \quad (\text{ok}) \end{aligned}$$

Jadi, profil WF 350.350.12.19 cukup untuk memikul beban-beban tersebut sesuai dengan SNI 03-1729-2015.

#### 4.2.6.6 Perhitungan Sambungan

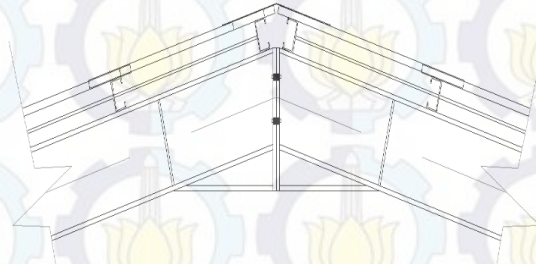
##### A. Gambar





## B. Perhitungan

- Sambungan A (Antar Kuda-kuda) :  
Perencanaan bangunan gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya ini direncanakan dengan struktur rangka atap baja sebagai penutup bangunannya. Setiap pertemuan profil pada rangka atap baja dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat pengikat **fastener** atau penyambung. Adapun alat penyambung yang digunakan pada perencanaan bangunan ini adalah sambungan baut dan sambungan las.



Gambar 4. 57 Rencana Sambungan antar Kuda-Kuda

- ❖ Data perencanaan :  
 Sudut kemiringan atap =  $10^\circ$   
 Profil kuda-kuda = WF 500.200.10.16  
 Tebal plat las = 10 mm  
 Mutu baja = BJ 37  
 $f_u$  = 370 Mpa  
 $f_{uw}$  (las) = 490 Mpa  
 $f_y$  = 240 Mpa  
 $f_{ub}$  = 825 Mpa  
 Tipe baut = A325  
 Diameter baut ( $d_b$ ) = 19 mm  
 Tebal plat ( $t_p$ ) = 10 mm

$r_1$  = 0,5 (untuk baut tanpa ulir bidang geser)

Jumlah bidang geser (m) = 1

Jumlah baut (n) = 12 buah

Jarak tepi minimum = 26 mm

(SNI 03-1729-2015 Pasal J3.4)

Jarak tepi maksimum = 15 tp

(SNI 03-1729-2015 Pasal J3.5)

Spasi minimum = 223 db

(SNI-03-1729-2015 Pasal J3.3)

Spasi maksimum = 14 tp

(SNI-03-1729-2015 Pasal J3.5)

Tegangan geser nominal ( $F_{nv}$ ) = 372 Mpa

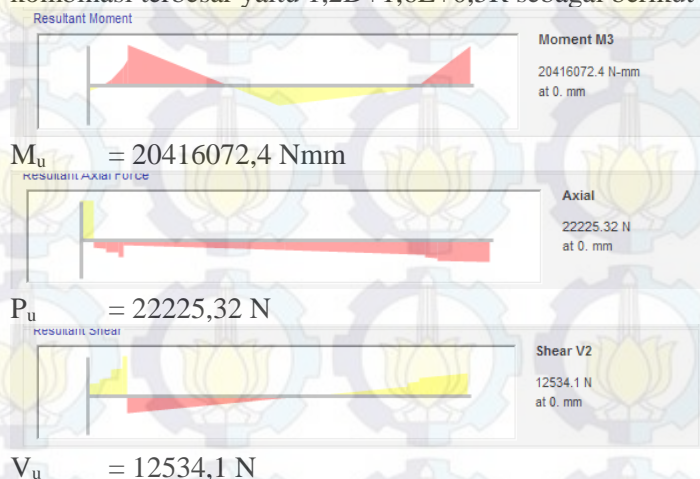
(SNI-03-1729-2015 Tabel J3.2)

Tegangan tarik nominal ( $F_{nt}$ ) = 620 Mpa

(SNI-03-1729-2015 Tabel J3.2)

Panjang kaki las rencana (a) = 2 mm

- ❖ Gaya-gaya dalam yang terjadi  
Dari hasil analisa SAP 2000, didapatkan gaya-gaya dari kombinasi terbesar yaitu 1,2D+1,6L+0,5R sebagai berikut :





Diketahui :

$$\beta = 10^\circ$$

$$V_u = 12534,1 \text{ N}$$

$$P_u = 22225,32 \text{ N}$$

$$V_1 = V \sin \beta = 12534,1 \text{ N} \times \cos 10^\circ = 2176,52 \text{ N}$$

$$V_2 = V \cos \beta = 12534,1 \text{ N} \times \sin 10^\circ = 12343,68 \text{ N}$$

$$P_1 = P \sin \beta = 22225,32 \text{ N} \times \sin 10^\circ = 3859,39 \text{ N}$$

$$P_2 = P \cos \beta = 22225,32 \text{ N} \times \cos 10^\circ = 21887,67 \text{ N}$$

$$\sum V = V_1 - P_1 = 1682,86 \text{ N} (\downarrow)$$

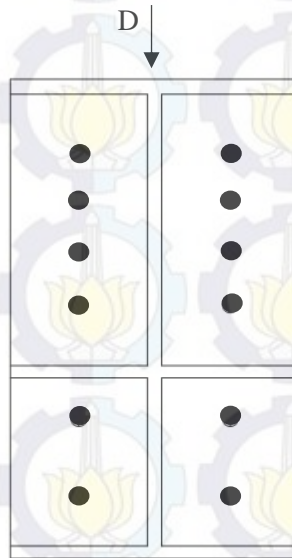
$$\sum H = P_2 + V_2 = 34231,35 \text{ N} (\rightarrow)$$

$$P_u \text{ terbesar} = 34231,35 \text{ N}$$

a. Perencanaan sambungan baut antar kuda-kuda :

Direncanakan:

- Diameter (db) = 19 mm
- Type = A325
- fu = 825 N/mm<sup>2</sup>
- ft = 585 N/mm<sup>2</sup>
- Jumlah (n) = 12 buah
- Tebal plat (tp) = 10 mm
- Jarak pusat ke baut tepi (S1) = 70 mm
- Jarak spasi antar baut (U) = 100 mm



- Kontrol jarak pusat baut ke tepi terdekat  
 Jarak tepi minimum  $\leq S_1 \leq 12t_p$  atau 150 mm  
 $26 \leq 70 \text{ mm} \leq 12 \cdot 10 \text{ mm}$  atau 150 mm  
 $26 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$  atau 150 mm  
 MEMENUHI (SNI-03-1729-2015 Pasal J3)
- Kontrol spasi antar elemen baut  
 Spasi minimum  $\leq U \leq 14t_p$  atau 180 mm  
 $22/3 \cdot d_b \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 14 \cdot 10 \text{ mm}$  atau 180 mm  
 $44,27 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 140 \text{ mm}$  atau 180 mm  
 MEMENUHI

a. Tahanan Nominal

Pada desain sambungan baut, untuk menghitung kekuatan geser dan tarik maka digunakan persamaan berdasarkan SNI-03-1729-2015 Pasal J3.6 sebagai berikut :

Kekuatan Geser

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$



$$\begin{aligned}
 &= 372 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot d^2) \\
 &= 372 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot (19 \text{ mm})^2) \\
 &= 372 \text{ Mpa} \cdot 283,528 \text{ mm}^2 \\
 &= 105472,69 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot R_n \\
 &= 0,75 \cdot 105472,69 \text{ N} \\
 &= 79104,51 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u < \phi R_n$$

$$34231,35 \text{ N} < 79104,51 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Kekuatan Tarik

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nt} \cdot A_b \\
 &= 620 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot d^2) \\
 &= 620 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot (19 \text{ mm})^2) \\
 &= 620 \text{ Mpa} \cdot 283,528 \text{ mm}^2 \\
 &= 175787,81 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot R_n \\
 &= 0,75 \cdot 124658,39 \text{ N} \\
 &= 131840,86 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u < \phi R_n$$

$$34231,35 \text{ N} < 131840,86 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

#### b. Tahanan Tumpuan

Pada desain sambungan baut tipe tumpuan, kekuatan tarik yang tersedia harus mampu menahan kombinasi gaya tarik dan geser, maka digunakan persamaan berdasarkan SNI-03-1729-2015 Pasal J3.7 sebagai berikut :

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 F'_{nt} &= 1,3 \cdot F_{nt} - F_{nt} / \phi F_{nv} \cdot f_{rv} \\
 &= 1,3 \cdot 620 \text{ Mpa} - 620 \text{ Mpa} / 0,75 \cdot 372 \text{ Mpa} \cdot (0,6 f_y) \\
 &= 486 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$F'_{nt} \leq F_{nt}$$

$$486 \text{ Mpa} \leq 620 \text{ Mpa} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b$$

$$R_n = 486 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot d^2)$$

$$R_n = 486 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot (19 \text{ mm})^2)$$

$$R_n = 486 \text{ Mpa} \cdot 283,528 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 137794,96 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot R_n$$

$$= 0,75 \cdot 137794,96 \text{ N}$$

$$= 103346,22 \text{ N}$$

$$R_u < \phi R_n$$

$$34231,35 \text{ N} < 103346,22 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Dari perhitungan diatas, diambil diambil gaya yang lebih besar yaitu tahanan tumpuan baut sebesar 131840,86 N.

- Kontrol gaya yang diterima satu baut  
 $V_u = 22225,32 \text{ N} / n = 22225,32 \text{ N} / 12 \text{ buah}$   
 $= 1852,11 \text{ N}$

Syarat

$$V_u < R_n$$

$$1852,11 \text{ N} < 131840,86 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

- Periksa Interaksi geser dan lentur baut

$$h_1 = 70$$

$$h_2 = 100$$

$$\Sigma d^2 = 2h_1^2 + 2h_2^2$$

$$= 59600$$

Direncanakan 1 baris terdapat

$$d_{\max} = 2 \cdot h_1$$

$$= 140$$

$$T_u = M_u \cdot d_{\max} / \Sigma d$$

$$= 20416072,4 \text{ Nmm} \cdot 0,0023$$

$$T_u < T_n$$

$$46956,96 \text{ N} < 131840,86 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

- c. Perencanaan sambungan las antar kuda-kuda

$$\text{Panjang kaki las rencana (a)} = 2 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal efektif las (t}_e\text{)} = 0,707 \cdot a$$

$$= 0,707 \cdot 2 \text{ mm}$$

$$= 1,414 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 b &= b - t_w \\
 &= 200 \text{ mm} - 10 \text{ mm} \\
 &= 190 \text{ mm} \\
 d &= h - 2t_f \\
 &= 500 \text{ mm} - 2 \cdot 16 \text{ mm} \\
 &= 468 \text{ mm} \\
 \text{Panjang las total (L tot)} &= 2d + 2b \\
 &= (2 \cdot 468 \text{ mm}) + (2 \cdot 190 \text{ mm}) \\
 &= 1316 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

d. Tinjauan las sudut

Pada desain sambungan las, direncanakan las sudut dimana semua elemen adalah segaris atau sejajar dengan ukuran kaki seragam, untuk menghitung kekuatan geser maka digunakan persamaan berdasarkan SNI-03-1729-2015 Pasal J2-4 sebagai berikut :

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 F_{EXX} &= 70 \text{ Ksi} \\
 &= 482,633 \text{ Mpa} \quad (\text{SNI-03-1729-2015 Pasal J2.6})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{nw} &= 0,60 \cdot F_{EXX} \cdot (1,0 + 0,50 \cdot \sin^{1,5} \theta) \\
 &= 0,60 \cdot 482,633 \text{ Mpa} \cdot (1,0 + 0,50 \cdot \sin^{1,5} 10^\circ) \\
 &= 319,31 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{we} &= t_e \cdot L \text{ tot} \\
 &= 1,414 \text{ mm} \cdot 1316 \text{ mm} \\
 &= 1860,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\
 &= 0,75 \cdot 319,31 \text{ Mpa} \cdot 1860,8 \text{ mm}^2 \\
 &= 445629 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u < \phi R_n$$

$$34231,35 \text{ N} < 445629 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

e. Tinjauan Plat

Kondisi leleh

$$\phi N_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y$$

$$= 0,75 \cdot 500 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 240 \text{ Mpa}$$

$$= 18000000 \text{ N}$$

$$\phi R_{nt} = \phi \cdot f_t \cdot A_b$$

Dimana :

$$F_{uv} = V_u / A_b \leq 0,5 \cdot \phi f_u^b$$

$$= 12534,1 \text{ N} / 283,385 \leq 0,5 \cdot 825 \text{ Mpa}$$

$$= 44,23 \text{ Mpa} \leq 309,375 \text{ Mpa} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$f_t = (410 - 1,5 f_{uv}) \leq 310 \text{ Mpa}$$

$$= (410 - 1,5 \cdot 44,23 \text{ Mpa}) \leq 310 \text{ Mpa}$$

$$= 304,25 \leq 310 \text{ Mpa}$$

Sehingga :

$$\phi R_{nt} = \phi \cdot f_t \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 304,25 \text{ Mpa} \cdot 283,385 \text{ mm}^2$$

$$= 64664,91 \text{ N}$$

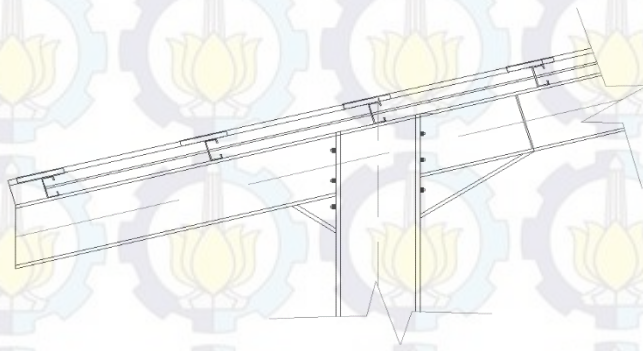
Syarat Kondisi Leleh

$$T_u \leq \phi R_{nt}$$

$$46956,96 \text{ N} \leq 64664,91 \text{ N}$$

Sehingga las sudut yang digunakan adalah dengan tebal 1,4 mm sepanjang 1316 mm.

- Sambungan B (Kuda-Kuda dan Kolom Pendek)  
Adapun alat penyambung yang digunakan pada perencanaan bangunan ini adalah sambungan baut dan sambungan las.

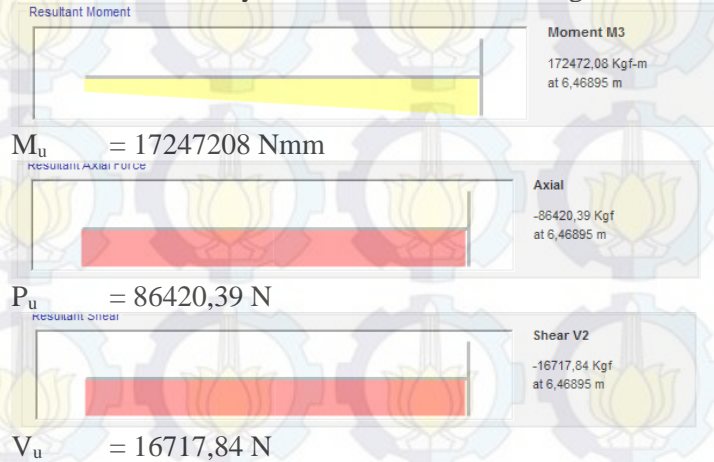


**Gambar 4. 58 Rencana Sambungan Kuda-Kuda dan Kolom**



- ❖ Data perencanaan :
  - Sudut kemiringan atap =  $10^\circ$
  - Profil kuda-kuda = WF 350.350.19.12
  - Tebal plat las = 10 mm
  - Mutu baja = BJ 37
  - $f_u$  = 370 Mpa
  - $f_{uw}$  (las) = 490 Mpa
  - $f_y$  = 240 Mpa
  - $f_{ub}$  = 825 Mpa
  - Tipe baut = A325
  - Diameter baut ( $d_b$ ) = 19 mm
  - Tebal plat ( $t_p$ ) = 10 mm
  - $r_1$  = 0,5 (untuk baut tanpa ulir bidang geser)
  - Jumlah bidang geser ( $m$ ) = 1
  - Jumlah baut ( $n$ ) = 10 buah
  - Jarak tepi minimum = 26 mm  
(SNI 03-1729-2015 Pasal J3.4)
  - Jarak tepi maksimum = 15 tp  
(SNI 03-1729-2015 Pasal J3.5)
  - Spasi minimum = 223 db  
(SNI-03-1729-2015 Pasal J3.3)
  - Spasi maksimum = 14 tp  
(SNI-03-1729-2015 Pasal J3.5)
  - Tegangan geser nominal ( $F_{nv}$ ) = 372 Mpa  
(SNI-03-1729-2015 Tabel J3.2)
  - Tegangan tarik nominal ( $F_{nt}$ ) = 620 Mpa  
(SNI-03-1729-2015 Tabel J3.2)
  - Panjang kaki las rencana ( $a$ ) = 2 mm

- ❖ Gaya-gaya dalam yang terjadi  
 Dari hasil analisa SAP 2000, didapatkan gaya-gaya dari kombinasi terbesar yaitu 1,2D+1,6L+0,5R sebagai berikut :



Diketahui :

$$\beta = 10^\circ$$

$$V_u = 16717,84 \text{ N}$$

$$P_u = 86420,39 \text{ N}$$

$$V1 = V \sin \beta = 16717,84 \text{ N} \times \cos 10^\circ = 14027,46 \text{ N}$$

$$V2 = V \cos \beta = 16717,84 \text{ N} \times \sin 10^\circ = 9094,85 \text{ N}$$

$$P1 = P \sin \beta = 86420,39 \text{ N} \times \sin 10^\circ = 47014,5 \text{ N}$$

$$P2 = P \cos \beta = 86420,39 \text{ N} \times \cos 10^\circ = 72512,89 \text{ N}$$

$$\sum V = V1 - P1 = 32987,04 \text{ N} (\downarrow)$$

$$\sum H = P2 + V2 = 81607,74 \text{ N} (\rightarrow)$$

$$P_u \text{ terbesar} = 81607,74 \text{ N}$$

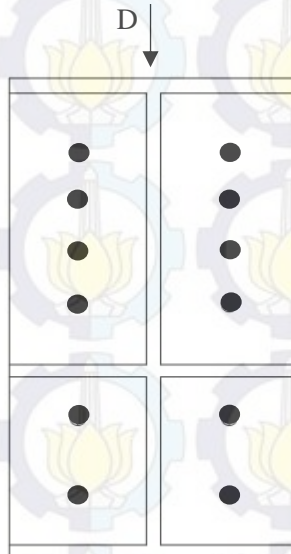
- b. Perencanaan sambungan baut kuda-kuda dan kolom :

Direncanakan:

- Diameter (db) = 19 mm
- Type = A325



- $f_u = 825 \text{ N/mm}^2$   
 $f_t = 585 \text{ N/mm}^2$   
 - Jumlah (n) = 10 buah  
 - Tebal plat (tp) = 10 mm  
 - Jarak pusat ke baut tepi (S1) = 70 mm  
 - Jarak spasi antar baut (U) = 100 mm



- Kontrol jarak pusat baut ke tepi terdekat  
 Jarak tepi minimum  $\leq S_1 \leq 12t_p$  atau 150 mm  
 $26 \leq 70 \text{ mm} \leq 12 \cdot 10 \text{ mm}$  atau 150 mm  
 $26 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm} \leq 120 \text{ mm}$  atau 150 mm  
 MEMENUHI (SNI-03-1729-2015 Pasal J3)
- Kontrol spasi antar elemen baut  
 Spasi minimum  $\leq U \leq 14t_p$  atau 180 mm  
 $22/3 \cdot d_b \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 14 \cdot 10 \text{ mm}$  atau 180 mm  
 $44,27 \text{ mm} \leq 100 \text{ mm} \leq 140 \text{ mm}$  atau 180 mm  
 MEMENUHI

a. Tahanan Nominal

Pada desain sambungan baut, untuk menghitung kekuatan geser dan tarik maka digunakan persamaan berdasarkan SNI-03-1729-2015 Pasal J3.6 sebagai berikut :

Kekuatan Geser

$$R_n = F_{nv} \cdot A_b$$

$$= 372 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot d^2)$$

$$= 372 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot (19 \text{ mm})^2)$$

$$= 372 \text{ Mpa} \cdot 283,528 \text{ mm}^2$$

$$= 105472,69 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot R_n$$

$$= 0,75 \cdot 105472,69 \text{ N}$$

$$= 79104,51 \text{ N}$$

$$P_u < \phi R_n$$

$$32987,04 \text{ N} < 79104,51 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Kekuatan Tarik

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b$$

$$= 620 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot d^2)$$

$$= 620 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot (19 \text{ mm})^2)$$

$$= 620 \text{ Mpa} \cdot 283,528 \text{ mm}^2$$

$$= 175787,81 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot R_n$$

$$= 0,75 \cdot 124658,39 \text{ N}$$

$$= 131840,86 \text{ N}$$

$$P_u < \phi R_n$$

$$32987,04 \text{ N} < 131840,86 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

b. Tahanan Tumpuan

Pada desain sambungan baut tipe tumpuan, kekuatan tarik yang tersedia harus mampu menahan kombinasi gaya tarik dan geser, maka digunakan persamaan berdasarkan SNI-03-1729-2015 Pasal J3.7 sebagai berikut :

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b$$

Dimana,

$$F'_{nt} = 1,3 \cdot F_{nt} - F_{nt} / \phi F_{nv} \cdot f_{rv}$$



$$= 1,3 \cdot 620 \text{ Mpa} - 620 \text{ Mpa} / 0,75 \cdot 372 \text{ Mpa} \cdot (0,6 f_y)$$

$$= 486 \text{ Mpa}$$

$$F'_{nt} \leq F_{nt}$$

$$486 \text{ Mpa} \leq 620 \text{ Mpa} \quad (\text{Memenuhi})$$

Sehingga

$$R_n = F'_{nt} \cdot A_b$$

$$R_n = 486 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot d^2)$$

$$R_n = 486 \text{ Mpa} \cdot (0,25\pi \cdot (19 \text{ mm})^2)$$

$$R_n = 486 \text{ Mpa} \cdot 283,528 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 137794,96 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot R_n$$

$$= 0,75 \cdot 137794,96 \text{ N}$$

$$= 103346,22 \text{ N}$$

$$R_u < \phi R_n$$

$$32987,04 \text{ N} < 103346,22 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

Dari perhitungan diatas, diambil diambil gaya yang lebih besar yaitu tahanan tumpuan baut sebesar 131840,86 N.

- Kontrol gaya yang diterima satu baut  
 $V_u = 16717,84 \text{ N} / n = 16717,84 \text{ N} / 10 \text{ buah}$   
 $= 1671,78 \text{ N}$

Syarat

$$V_u < R_n$$

$$1671,78 \text{ N} < 131840,86 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

- Periksa Interaksi geser dan lentur baut

$$h_1 = 100$$

$$h_2 = 130$$

$$\Sigma d^2 = h_1^2 + h_2^2$$

$$= 53800$$

Direncanakan 1 baris terdapat

$$d_{\max} = 2 \cdot h_2$$

$$= 260$$

$$T_u = \mu_u \cdot d_{\max} / \Sigma d$$

$$= 17247208 \text{ Nmm} \cdot 0,0048$$

$$T_u < T_n$$

$$83350,82 \text{ N} < 131840,86 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

- c. Perencanaan sambungan las antar kuda-kuda

$$\text{Panjang kaki las rencana ( } a \text{ )} = 2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif las ( } t_e \text{ )} &= 0,707 \cdot a \\ &= 0,707 \cdot 2 \text{ mm} \\ &= 1,414 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= b - t_w \\ &= 350 \text{ mm} - 12 \text{ mm} \\ &= 338 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - 2t_f \\ &= 350 \text{ mm} - 2 \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 312 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang las total ( } L_{\text{tot}} \text{ )} &= 2d + 2b \\ &= (2 \cdot 312 \text{ mm}) + (2 \cdot 338 \text{ mm}) \\ &= 1300 \text{ mm} \end{aligned}$$

- d. Tinjauan las sudut

Pada desain sambungan las, direncanakan las sudut dimana semua elemen adalah segaris atau sejajar dengan ukuran kaki seragam, untuk menghitung kekuatan geser maka digunakan persamaan berdasarkan SNI-03-1729-2015 Pasal J2-4 sebagai berikut :

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

Dimana

$$\begin{aligned} F_{EXX} &= 70 \text{ Ksi} \\ &= 482,633 \text{ Mpa} \quad (\text{SNI-03-1729-2015 Pasal J2.6}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,60 \cdot F_{EXX} \cdot (1,0 + 0,50 \cdot \sin^{1,5} \theta) \\ &= 0,60 \cdot 482,633 \text{ Mpa} \cdot (1,0 + 0,50 \cdot \sin^{1,5} 10^\circ) \\ &= 319,31 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{we} &= t_e \cdot L_{\text{tot}} \\ &= 1,414 \text{ mm} \cdot 1300 \text{ mm} \\ &= 1838,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \cdot 319,31 \text{ Mpa} \cdot 1838,2 \text{ mm}^2 \\ &= 440216,73 \text{ N} \end{aligned}$$



$$P_u < \phi R_n$$

$$81607,74 \text{ N} < 440216,73 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

e. Tinjauan Plat

Kondisi leleh

$$\phi N_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y$$

$$= 0,75 \cdot 350 \text{ mm} \cdot 350 \text{ mm} \cdot 240 \text{ Mpa}$$

$$= 22050000 \text{ N}$$

$$\phi R_{nt} = \phi \cdot f_t \cdot A_b$$

Dimana :

$$F_{uv} = V_u / A_b \leq 0,5 \cdot \phi f_u^b$$

$$= 16717,84 \text{ N} / 283,385 \leq 0,5 \cdot 825 \text{ Mpa}$$

$$= 58,99 \text{ Mpa} \leq 309,375 \text{ Mpa} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$f_t = (410 - 1,5 f_{uv}) \leq 310 \text{ Mpa}$$

$$= (410 - 1,5 \cdot 58,99 \text{ Mpa}) \leq 310 \text{ Mpa}$$

$$= 308,51 \leq 310 \text{ Mpa}$$

Sehingga :

$$\phi R_{nt} = \phi \cdot f_t \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 308,51 \text{ Mpa} \cdot 283,385 \text{ mm}^2$$

$$= 65570,33 \text{ N}$$

Syarat Kondisi Leleh

$$T_u \leq \phi R_{nt}$$

$$32987,04 \text{ N} \leq 65570,33 \text{ N}$$

Sehingga las sudut yang digunakan adalah dengan tebal 1,4 mm sepanjang 1300 mm.

● Sambungan C (Plat Landas):

a. Data Perencanaan :

- Dimensi kolom baja WF 350.350.12.19
- Beban kolom hasil dari SAP 2000 :
  - o Gaya aksial akibat beban terfaktor ( $P_u$ ) = 87459 Kg
  - o Momen akibat beban terfaktor ( $M_u$ ) = 64325,29 Kgm
  - o Gaya geser akibat beban terfaktor ( $V_u$ ) = 16717,84 Kg
- Kolom Pedestal 350 x 350

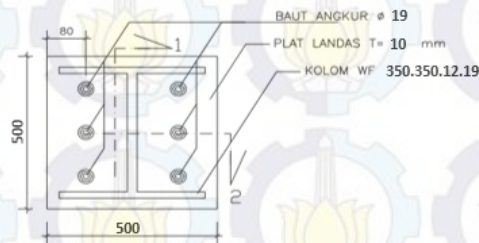
- $f_c'$  beton 30 Mpa
- Tegangan ijin beton  $\sigma = 0,85 \times 30 \text{ Mpa}$   
 $= 25,5 \text{ Mpa} \approx 25,5 \text{ N/mm}^2$
- Angkur Baut :
  - o Tipe angkur baut = A-325
  - o Tegangan putus angkur baut ( $f_u^b$ ) = 825 Mpa
  - o Tegangan leleh angkur baut = 585 Mpa
- b. Perencanaan dimensi plat landas lebar (B) dan panjang (N) :

- Mencari Luas Perlu :

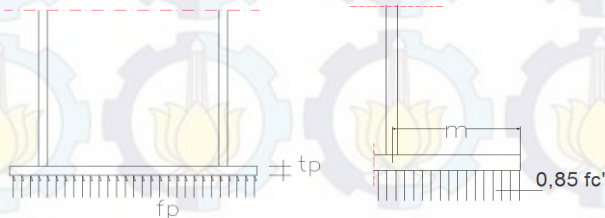
$$\begin{aligned} \sigma_{ijin} &\geq P_u / A \\ 25,5 \text{ Mpa} &\geq (87459 \text{ Kg}) / A \\ 25,5 \text{ N/mm}^2 &\geq (874590 \text{ N}) / A \\ A &\geq 34297,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Direncanakan :

$$\begin{aligned} \text{lebar } B \times N &= 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 250000 \text{ mm}^2 > 34297,6 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)} \end{aligned}$$



- c. Perhitungan tebal plat landas:



- Tegangan dibawah plat landas



$$f_{pu} = 0,85 \times f_c$$

$$= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} = 25,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Modulus penampang} = \frac{1}{6} \times b \times t_p^2$$

$$= \frac{1}{6} \times 500 \text{ mm} \times t_p^2$$

$$= 83,33 \times t_p^2$$

- Sehingga tebal penampang yang dibutuhkan adalah :

$$F_y \geq \frac{M}{S}$$

$$240 \text{ N/mm}^2 \geq \frac{\frac{1}{2} \times f_{pu} \times m^2}{83,33 t_p^2}$$

$$240 \text{ N/mm}^2 \geq \frac{\frac{1}{2} \times 25,5 \text{ N/mm} \times (60 \text{ mm})^2}{83,33 t_p^2}$$

$$t_p \geq 1,48 \text{ mm} \approx 10 \text{ mm}$$

Jadi tebal plat landas yang di pakai adalah setebal 10 mm

- d. Perhitungan jumlah anker pada plat landas:



- Mencari tegangan anker yang terjadi akibat reaksi plat landas :

$$\sum V = 0 \text{ (persamaan I)}$$

$$T - P - 0,85 f_c \cdot b \cdot a = 0$$

$$\sum M = 0 \text{ (persamaan II)}$$

$$P \cdot 47 \text{ mm} + M - 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = 0$$

$$874590 \text{ N} \cdot 214 \text{ mm} + 643252900 \text{ Nmm} - 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot a \cdot 500 \text{ mm} (464 \text{ mm} - 1/2 a) = 0$$

$$5100 \cdot a^2 - 4732800 \cdot a + 535853021 = 0$$

Dari persamaan 1.1 disederhanakan : (:5100)

$$a^2 - 928a + 105069,22 = 0$$

Persamaan II diatas diselesaikan dengan rumus ABC :

$$a1, a2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a1 = \frac{(-928) + \sqrt{928^2 - 4 \cdot 1 \cdot 105069,22}}{2 \cdot 1}$$

$$= 916 \text{ mm}$$

$$a2 = \frac{(-928) - \sqrt{928^2 - 4 \cdot 1 \cdot 105069,22}}{2 \cdot 1}$$

$$= 11,53 \text{ mm}$$

Maka nilai a yang dipakai adalah 11,53 mm.

Dari nilai a tersebut dimasukan kedalam persamaan I

$$\Sigma V = 0 \text{ (persamaan I)}$$

$$T - P - 0,85 \text{ fc} \cdot b \cdot a = 0$$

$$T = P + 0,85 \cdot \text{fc} \cdot b \cdot a$$

$$= 1021597,5 \text{ N} \approx 102159,75 \text{ kg}$$

Didapatkan nilai tegangan tarik yang terjadi pada angker sebesar 102159,75 kg

- Perhitungan jumlah Angker:

$$N = \frac{T_u}{\text{kuat tarik baut}} = \frac{102159,75 \text{ kg}}{\phi \cdot 0,75 \cdot 8250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times \left(\frac{1}{4} \pi 2,5^2\right)} = 4 \text{ buah.}$$

Total kebutuhan yang dipasang untuk 1 sisi adalah 4 buah dan untuk keseluruhan 8 buah.

e. Panjang penyaluran Angker:

$$L_h = \frac{\frac{T_u}{2}}{0,75 \text{ fc}' \cdot \phi} = \frac{\frac{102159,75 \text{ kg}}{2}}{0,75 \cdot 300 \text{ kg/cm}^2 \cdot 2,5 \text{ cm}} = 70 \text{ cm}$$

Panjang penyaluran untuk angker adalah 70 cm.

Perhitungan angker terhadap gaya geser  $V_u = 16717,84 \text{ Kg}$

Kuat geser:

$$\phi R_n = 0,75 \text{ m} \cdot r_l \cdot f_{ub} \cdot A_b$$

$$= 0,75 \cdot 1 \cdot (0,50) (8250 \text{ kg/cm}^2) (2,5 \text{ cm}^2)$$

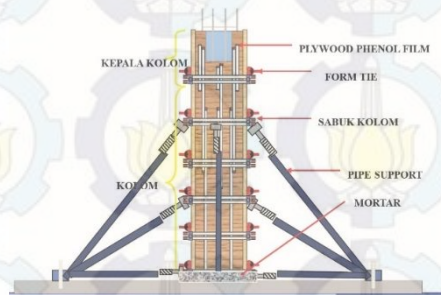
$$= 19335,93 \text{ kg}$$



Kekuatan 1 anker adalah 102159,75 kg sedangkan anker yang dipasang total ada 8 buah sehingga kekuatan nominal seluruh anker adalah  $8 \times 102159,75 \text{ kg} = 817278 \text{ kg}$  lebih besar dari gaya geser ultimate yang terjadi  $V_u = 16717 \text{ Kg}$ .

#### 4.4 Metode Pelaksanaan Konstruksi Kolom

Pada proyek pusat perbelanjaan ini kolom yang digunakan berbentuk persegi dan hanya ada 2 tipe. Langkah teknis pekerjaan kedua tipe kolom adalah sebagai berikut ini :



*Gambar 3. 3 Detil Bekisting Kolom*

##### 1) Penentuan As kolom

Titik-titik dari as kolom diperoleh dari hasil pengukuran dan pematokan. Hal ini disesuaikan dengan gambar yang telah direncanakan. Cara menentukan as kolom membutuhkan alat-alat seperti: theodolit, meteran, tinta, sipatan dll. Proses pelaksanaan:

- Penentuan as kolom dengan Theodolit dan waterpass berdasarkan shop drawing dengan menggunakan acuan yang telah ditentukan bersama dari titik BM (Bench Mark) Surabaya.
- Buat as kolom dari garis pinjaman
- Pemasangan patok as bangunan / kolom (tanda berupa garis dari sipatan).

## 2) Pembesian kolom

Proses pekerjaan pembesian kolom adalah sebagai berikut:

- a) Pembesian atau perakitan tulangan kolom adalah precast atau dikerjakan di tempat lain yang lebih aman.
- b) Perakitan tulangan kolom harus sesuai dengan gambar kerja.
- c) Selanjutnya adalah pemasangan tulangan utama. Sebelum pemasangan sengkang, terlebih dahulu dibuat tanda pada tulangan utama dengan kapur.
- d) Selanjutnya adalah pemasangan sengkang, setiap pertemuan antara tulangan utama dan sengkang diikat oleh kawat dengan sistem silang.
- e) Setelah tulangan selesai dirakit, untuk besi tulangan precast diangkut dengan menggunakan Tower Crane ke lokasi yang akan dipasang.
- f) Setelah besi terpasang pada posisinya dan cukup kaku, lalu dipasang beton deking sesuai ketentuan. Beton deking ini berfungsi untuk mempertahankan selimut beton.

## 3) Pemasangan Bekisting Kolom

Pemasangan bekisting kolom dilaksanakan apabila pelaksanaan pembesian tulangan telah selesai dilaksanakan. Berikut ini adalah uraian singkat mengenai proses pembuatan bekisting kolom.

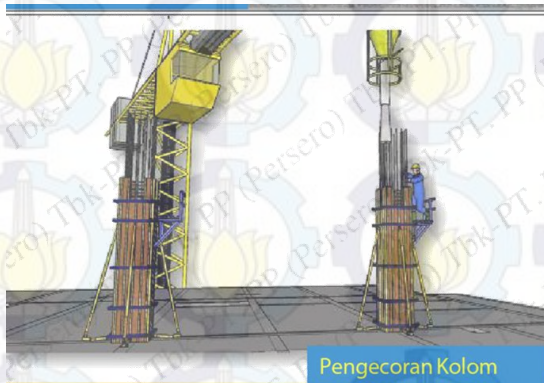




- a) Bersihkan area kolom dan marking posisi bekisting kolom.
- b) Membuat garis pinjaman dengan menggunakan sipatan dari as kolom sebelumnya sampai dengan kolom berikutnya dengan berjarak 100 cm dari masing-masing as kolom.
- c) Setelah mendapat garis pinjaman, lalu buat tanda kolom pada lantai sesuai dengan dimensi kolom yang akan dibuat, tanda ini berfungsi sebagai acuan dalam penempatan bekisting kolom.
- d) Marking sepatu kolom sebagai tempat bekisting.
- e) Pasang sepatu kolom pada tulangan utama atau tulangan sengkang.
- f) Pasang sepatu kolom dengan marking yang ada.
- g) Atur kelurusan bekisting kolom dengan memutar push pull.
- h) Setelah tahapan diatas telah dikerjakan, maka kolom tersebut siap dicor.

#### 4) Pengecoran kolom

Langkah kerja pengecoran kolom adalah sebagai berikut:



- a) Persiapan pengecoran  
Sebelum dilaksanakan pengecoran, kolom yang akan dicor harus benar-benar bersih dari kotoran agar tidak membahayakan konstruksi dan menghindari kerusakan beton.

b) Pelaksanaan pengecoran

Pengecoran dilakukan dengan menggunakan bucket cor yang dihubungkan dengan pipa tremi dengan kapasitas bucket sampai 0,9 m<sup>3</sup>. Bucket tersebut diangkut dengan menggunakan Tower Crane untuk memudahkan pengerjaan.

Penuangan beton dilakukan secara bertahap, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya segregasi yaitu pemisahan agregat yang dapat mengurangi mutu beton. Selama proses pengecoran berlangsung, pemadatan beton menggunakan vibrator. Hal tersebut dilakukan untuk menghilangkan rongga-rongga udara serta untuk mencapai pemadatan yang maksimal.

5) Pembongkaran bekisting kolom

Setelah pengecoran selesai, maka dapat dilakukan pembongkaran bekisting. Proses pembongkarannya adalah sebagai berikut:



- Setelah beton berumur 8 jam, maka bekisting kolom sudah dapat dibongkar.
- Pertama-tama, plywood dipukul-pukul dengan



menggunakan palu agar lekatan beton pada plywood dapat terlepas.

- c) Kendorkan push pull (penyangga bekisting), lalu lepas push pull.
- d) Kendorkan baut-baut yang ada pada bekisting kolom, sehingga rangkaian/panel bekisting terlepas.
- e) Panel bekisting yang telah terlepas, atau setelah dibongkar segera diangkat dengan Tower Crane ke lokasi pabrikasi awal.

#### 6) Perawatan Kolom Beton

Perawatan Kolom Beton setelah pengecoran adalah dengan sistem kompon, yaitu dengan disiram 3 kali sehari selama 3 hari.

#### 7) Evaluasi Mutu Beton

Mutu beton sangat tergantung dari proses produksi dan perawatannya. Setiap batch adukan beton, meskipun dibuat di dalam batching plant yang sama dengan desain campuran yang sama, pasti akan mendapatkan hasil kekuatan yang berbeda-beda. Oleh karenanya, pada pelaksanaan konstruksi beton, beton yang dicor harus selalu dievaluasi kualitasnya.

- **Frekuensi Pengujian**

Pengambilan contoh uji beton harus diambil :

1. Satu contoh uji perhari, atau setiap  $120\text{m}^3$  beton, atau setiap  $500\text{m}^2$  permukaan lantai atau dinding.
2. Jika dengan cara no 1 di atas hanya didapatkan kurang dari 5 uji untuk keseluruhan volume total beton, maka uji kekuatan harus diambil dari 5 adukan secara acak.
3. Jika volume total beton kurang dari  $40\text{m}^3$ , maka tidak perlu pengujian jika bukti terpenuhinya kekuatan tekan disetujui oleh pengawas.
4. Suatu uji kuat tekan adalah nilai rata-rata dari 2 contoh uji silinder dari adukan beton yang sama pada umur 28 hari.

- **Kriteria Penerimaan Beton di Laboratorium**

Kuat tekan beton dinyatakan memenuhi syarat bila dipenuhi 2 hal dibawah ini :

1. Setiap nilai rata-rata dari 3 uji yang berurutan minimal sama dengan  $f_c'$
2. Tidak ada nilai uji kuat tekan yang dihitung sebagai nilai rata-rata dari 2 hasil uji mempunyai nilai di bawah  $f_c'$  lebih dari 3,5 MPa

- **Kriteria Penerimaan Beton di Lapangan**

Jika diminta pengawas, maka uji kekuatan beton yang dirawat di lapangan harus dilaksanakan. Jika hasil uji kuat tekan beton yang dirawat di lapangan kurang dari 85% dari kuat tekan beton yang dirawat di laboratorium, maka prosedur untuk perlindungan dan perawatan beton harus diperketat. Batas 85% ini tidak berlaku bila kuat tekan beton yang dirawat di lapangan melebihi  $f_c'$  sebesar minimal 3,5 MPa.

- **Pengujian pada Umur di bawah 28 Hari**

Pengujian bisa dilakukan pada umur di bawah 28 hari bila dipandang perlu untuk mendapatkan perkiraan kekuatan beton secara dini. Untuk itu pengujian bisa dilakukan pada umur 3, 7, dan 14 hari. Grafik di bawah ini menunjukkan perkiraan perkembangan kekuatan beton dari 3 sampai 91 hari menurut SNI-T-15-1990-03 *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal* yang dinyatakan sebagai persentase terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan suatu struktur gedung beton bertulang dengan rangka atap baja di daerah Surabaya termasuk kedalam zona 3 peta gempa 2010 periode ulang 10% dalam 50 tahun dengan nilai  $N_{SPT} = 21,57$  dan tergolong tanah sedang dapat dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan nilai  $R = 5$  untuk beton bertulang dan  $R = 4,5$  untuk rangka baja.
2. Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan Gedung Pusat Perbelanjaan di Surabaya dengan metode SRPMM. Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :



#### Komponen Pelat

Type	Ly	Lx	Ly/Lx	Arah	Kesimpulan					
					lap. x	lap. y	tump. X	tump. Y	susut x	susut y
	m	m			mm	mm	mm	mm	mm	mm
A	5	4	1,25	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
B	4	4	1	dua	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
C	4	5	0,8	dua	Ø14-200	Ø14-200	Ø14-100	Ø14-100	Ø10-200	Ø10-200



#### Komponen Tangga

Type Tangga	Tanjakan cm	Injakan cm	Kemiringan o	tebal plat cm	arah penulangan	tulangan tangga	tulangan bordes
1	17	30	29,53	15	x	Ø10-250	Ø10-250
2	17	30	29,53	15	y	Ø16-80	Ø16-150



#### Komponen Balok

Bentuk = Bujur sangkar

Segkang = Non-spiral

Type	Bentang cm	Dimensi cm	Tulangan Torsi	Tulangan Lentur			
				Tumpuan		Lapangan	
				Tarik	Tekan	Tarik	Tekan
B1	10000	40/60	2 D19	3 D25	8 D25	2 D25	2 D25
B2	8000	40/60	2 D19	2 D22	5 D22	2 D22	2 D22
B3	8000	40/60	2 D19	2 D22	2 D22	2 D22	2 D22
BA1	10000	35/50	2 D19	2 D22	4 D22	5 D22	3 D22
BA2	8000	35/50	2 D19	2 D22	4 D22	2 D22	3 D22
BA3	8000	35/50	2 D19	2 D22	4 D22	3 D22	3 D22
BR1	8000	20/30	4 D16	2 D16	2 D16	2 D16	2 D16
BM1	8000	50/70	2 D19	2 D22	3 D22	2 D22	3 D22
S1	10000	40/60	-	2 D22	4 D22	2 D22	3 D22



### Komponen Kolom

Type	Dimensi	Lantai	Tinggi	Tulangan Aksial Lentur	Tulangan Geser
			m		
K1	60/60	0	5	12 D22	Ø10-100
		1	5	12 D22	Ø10-100
		2	5	12 D22	Ø10-100
		3	12	12 D22	Ø10-100
K2	50/50	0	5	16 D16	Ø10-100
		1	5	16 D16	Ø10-100
		2	5	16 D16	Ø10-100
		3	12	16 D16	Ø10-100



### Komponen Rangka Baja

No	Komponen	Stress Ratio	Lendutan (mm)	Lendutan ijin (mm)
1	Gording LLC 150.65.20.3,2	$0,5 < 1$	1,4	2,2
2	Kuda-kuda WF 500.200.10.16	$0,37 < 1$	92,81	160,77
3	Kolom WF 350.350.12.19	$0,15 < 1$	11,77	27,1

Penggantungan Gording = D10

Ikatan Angin Atap = D19

Sambungan kuda-kuda = 14 Ø19

Sambungan kolom dan kuda-kuda = 12 Ø19

Angker kolom baja = 4 buah



3. Pada proyek pusat perbelanjaan ini kolom yang digunakan berbentuk persegi dan hanya ada 2 tipe. Langkah teknis pekerjaan kedua tipe kolom adalah sebagai berikut ini :
  - 1) Penentuan as kolom
  - 2) Pembesian kolom
  - 3) Pemasangan bekisting kolom
  - 4) Pengecoran kolom
  - 5) Pengambilan sampel dan evaluasi mutu beton
  - 6) Pembongkaran bekisting kolom
  - 7) Perawatan kolom beton

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil perhitungan dan penggambaran yang dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Lakukan perhitungan sesuai peraturan dan literatur terbaru
2. Cek kebenaran perhitungan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam program bantu SAP agar tidak terjadi proses running yang berulang-ulang
3. Sinkronkan data perhitungan dengan data gambar yang dibuat
4. Jika terjadi *redesign*, sebisa mungkin lampirkan segala hal yang menyebabkan berubahnya suatu desain dari perencanaan awal.

### DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional, **Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)**, Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, **Persyaratan Beton Struktur untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)**, Jakarta, 2013.

Badan Standarisasi Nasional, **Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729-2015)**, Jakarta, 2015.

Badan Standarisasi Nasional, **Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)**, Jakarta, 2012.

Imran, Iswandi dan Hendrik. Fajar, **Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang**, Bandung : Penerbit ITB, 2014.

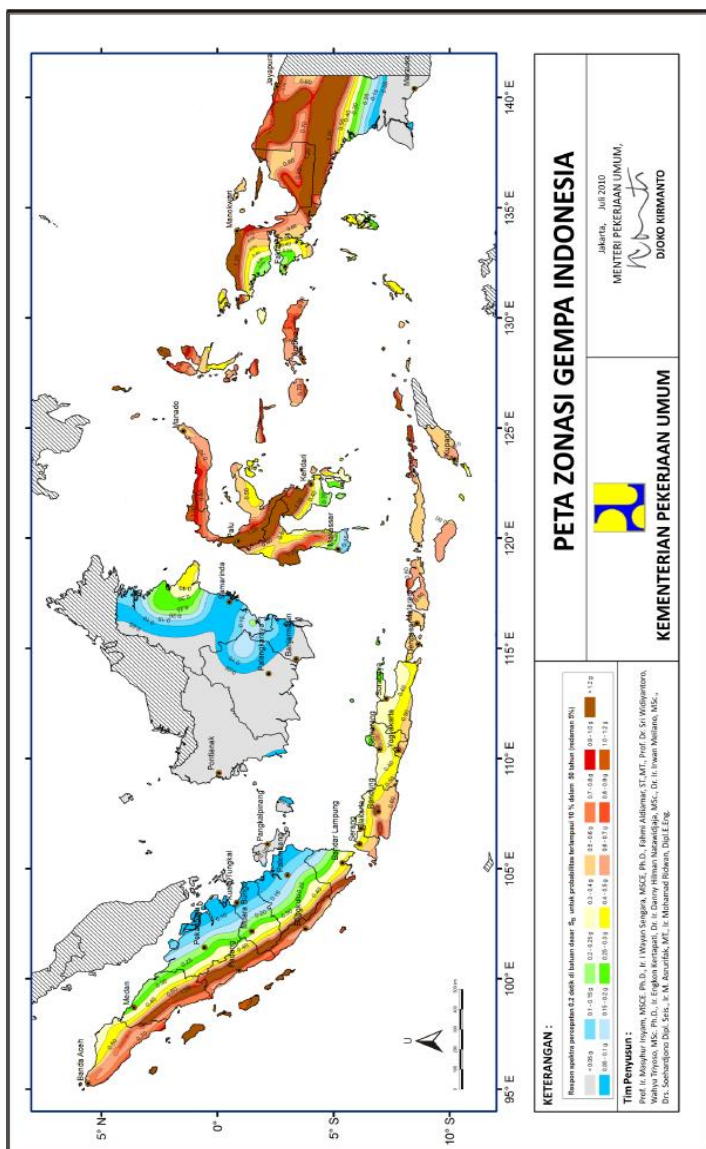
Kementerian Pekerjaan Umum, **Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan Infrastruktur Tahan Gempa**, Jakarta, 2010.

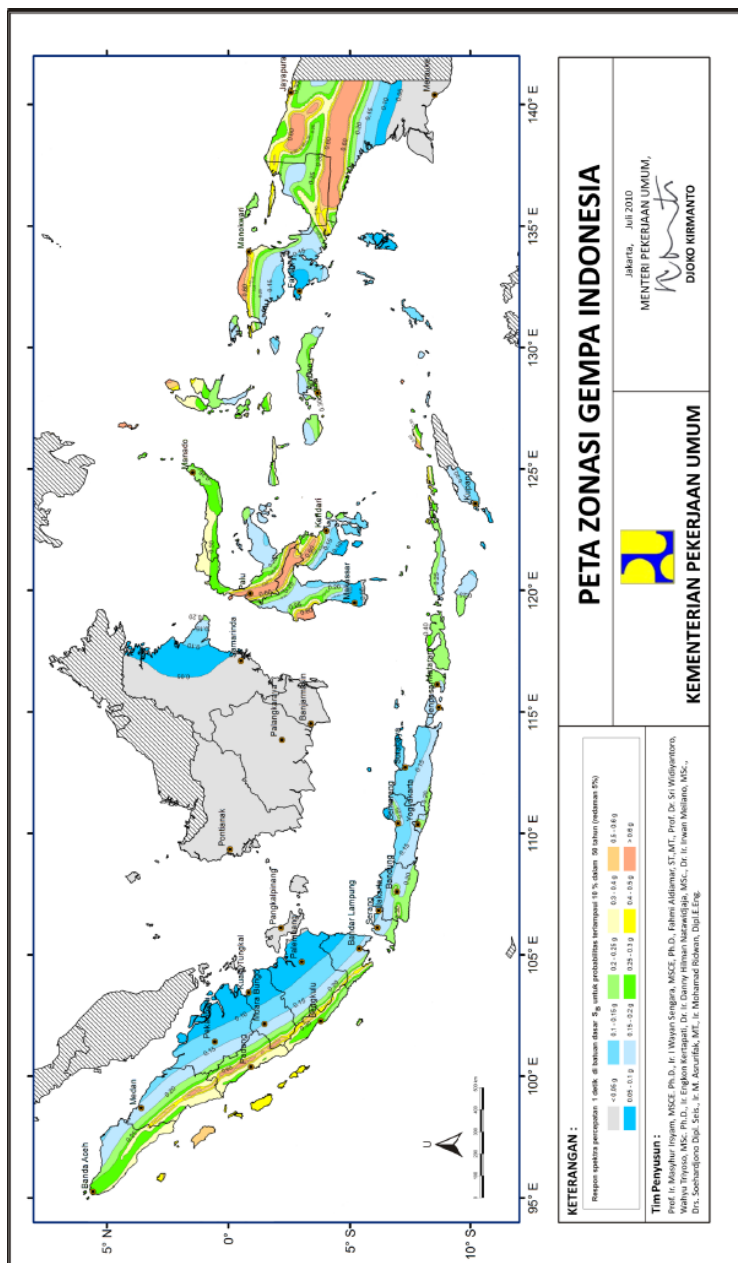
Syah, Firman. 2007. **Perencanaan Escalator Lantai Satu Ke Dua Digatedung Pusat Perbelanjaan Metropolis Tangerang**. Jakarta : Universitas Mercu Buana.

Wang. Chu-Kia dan Charles G. Salmon, **“Desain Beton Bertulang Jilid 1 dan 2 Edisi Keempat”**



## LAMPIRAN





Gambar 3. Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_E$ ) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun





# LANTAI



## Floor Screed T100

- Untuk pasang keramik, homogenous tile, granit, marmar, batu alam.
- Khusus untuk pemakaian di daerah kering
- Cocok untuk interior & eksterior (kamar tidur, ruang tamu, ruang keluarga)



40kg



## Tile Adhesive

### ◆ TA Standard T100

- Untuk pasang keramik, homogenous tile, granit, marmar, batu alam.
- Khusus untuk pemakaian di daerah kering
- Cocok untuk interior & eksterior (kamar tidur, kamar mandi dan dinding luar)
- Ketebalan aplikasi berkisar antara 3-5 mm
- Pemakaian 4-5 kg /m<sup>2</sup>

25kg  
5kg

### ◆ TA Plus T325

- Untuk pasang keramik, homogenous tile, granit, marmar, batu alam.
- Khusus untuk pemakaian di daerah kering & basah
- Cocok untuk interior & eksterior (kolam renang, kamar mandi dan dinding luar)
- Ketebalan aplikasi berkisar antara 3-5 mm
- Pemakaian 4-5 kg /m<sup>2</sup>
- Untuk pemasangan keramik di atas keramik

25kg  
5kg

## Tile Grout

### ◆ Tile Grout

- Pengisi nat ubin dengan lebar celah antara 1,5 - 4 mm
- Cocok untuk semua jenis keramik, marmar, granit maupun beragam batu alam
- Tile Grout untuk semua area
- Untuk ubin pada dinding dan lantai



1kg

### ◆ Grout Additive

- Cairan alkali pengganti air yang dicampurkan ke Tile Grout agar tahan terhadap ultra violet dan bahan kimia konsentrasi rendah
- Untuk daerah yang sering terkena air, sekaligus anti jamur seperti kolam renang
- Minim perawatan (washable)



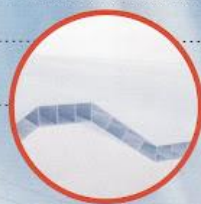
1L

Dapat diperoleh di:

[www.drymix.co.id](http://www.drymix.co.id)

## TECHNICAL SPECIFICATIONS SPESIFIKASI TEKNIS

Width (effective)	: 620 mm
Height	: 30 mm
Length (max)	: 12 M
Material	: PVC Coated with UV
Protection Coating	: Anti UV
Thickness	: 10 mm
Suggested Purlin/Bar Distance	: 1.2 M
Weight	: approx. 3.2 Kg / M
Types	: 1. Doff 2. Semi Transparant
Colors	: 1. Sky Blue 2. White 3. Light Green



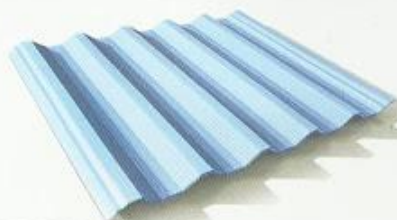




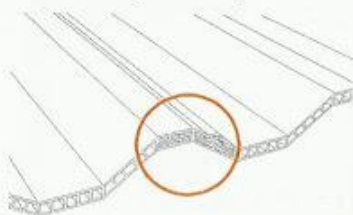
## DOUBLE WALL CORRUGATED PLASTIC ROOF

The Innovative Solution for Modern Roofing Construction

### Dimensi



### Ketebalan bagian Overlap



### Pemasangan



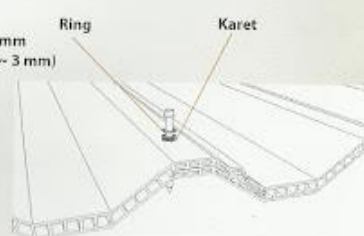
Mur  
6 mm x 65 mm  
6 mm x 75 mm



Ring  
6 mm x 20 mm  
(thickness ~ 1 mm)



Karet  
6 mm x 20 mm  
(thickness ~ 3 mm)





## Petunjuk Instalasi ROOFTOP®

### PENYIMPANAN:

- Simpan Rooftop® di tempat yang jauh dari api atau pemanas.
- Hindarkan kontak langsung dengan lantai/ tanah dan barang barang tajam atau keras lainnya.

### INSTALASI & PEMOTONGAN

Pemotongan sebaiknya dilakukan dengan mesin pemotong (gerinda) untuk hasil yang rata dan sesuai dengan keinginan. Instalasi dapat menggunakan alat pertukangan biasa seperti: meteran, obeng, bor, dll

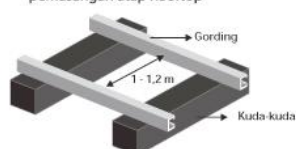


### AKSESORIS PENUNJANG

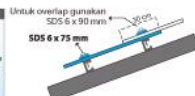
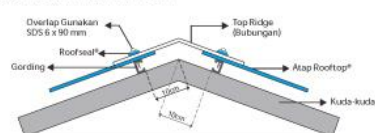


### TEKNIS PEMASANGAN

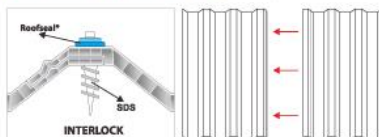
- 1 Persiapkan rangka untuk pemasangan atap Rooftop®



- 2 Jarak Gording pertama dari titik tengah pertemuan kuda-kuda maksimal 10 cm



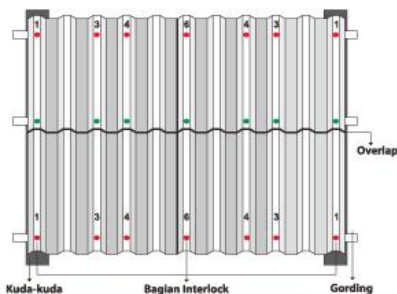
- 3 Letakkan atap Rooftop® yang telah dipotong sesuai ukuran satu persatu secara Interlock



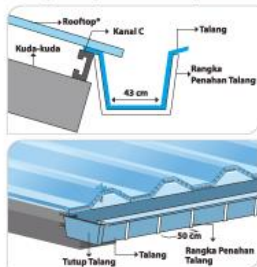


- 4 Pasang SDS beserta Roofseal® dengan jarak pemakaian yang disarankan (4 baut SDS per lebar atap pada lokasi 1, 3, 4, 6).

Secara umum, gunakan SDS ukuran 6 x 75 mm untuk pemasangan Rooftop® (gambar titik berwarna merah), kecuali pada bagian overlap/sambungan gunakan SDS ukuran 6 x 90 mm (gambar titik berwarna hijau)



- 5 Pasang Talang dan Sambungan Talang



- 6 Untuk aplikasi lengkung yang dianjurkan adalah bentang bangunan minimal 3 m, dengan jarak  $R=10$



### GARANSI

#### Syarat Jaminan Garansi:

- Garansi ini diberikan untuk produk merk ROOFTOP® dengan masa berlaku selama 10 tahun (120 bulan) untuk tipe DOFF dan 7 tahun (84 bulan) untuk tipe TRANSPARENT (TT) sejak tanggal pembelian.
- Garansi mencakup jenis, jumlah dan spesifikasi produk yang dipasang sesuai dengan Dokumen Petunjuk Instalasi ROOFTOP®
- Garansi ini diberikan dan berlaku apabila terjadi kekeroposan Atap Gelombang merk ROOFTOP® yang disebabkan oleh factor cuaca (pengaruh sinar matahari & air hujan).
- Garansi tidak berlaku untuk:
  - Kesalahan pemasangan/aplikasi produk.
  - Perubahan warna setelah pemasangan.
  - Kerusakan yang diakibatkan oleh penyambungan alat atau produk lain, penambahan/modifikasi yang bukan menjadi tanggung jawab kami.
  - Kerusakan yang ditimbulkan oleh benturan benda keras, force majeure (bencana alam, banjir, huru-hara, sabotase, kebakaran, ledakan) dan hal-hal lain yang di luar point no. 3.



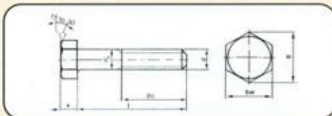
ATAP DINGIN, KEDAP SUARA  
& TAHAN ASAM/GARAM.



\* Bersertifikat dan terjamin kualitasnya.  
Warranty (DOFF) / Tahun (Semi-TR)

ATAP ROOFTOP®		
	UKURAN	HARGA
	Lebar : 820 mm (efektif 770 mm) Panjang : 6 M' / 8 M' / 10 M' / 12 M' / Custom** Tebal : 10mm Warna : Putih & Biru Muda	DOFF = Rp. 105.000,-/M' Semi-TR = Rp. 125.000,-/M'
TOP RIDGE (WUWUNGAN) ROOFTOP®		
	Lebar : 350mm Panjang : 820mm (efektif 770 mm) Warna : Putih & Biru Muda	DOFF = Rp. 65.000,-/pcs
TALANG AIR ROOFTOP®		
Talang 	Lebar : 434mm (Atas) / 380mm (Bawah) Panjang : 6 M' Warna : Putih & Biru Muda	DOFF = Rp. 360.000,-/pcs
Sambungan Talang 	Lebar : 453mm (Atas) / 390mm (Bawah) Warna : Putih & Biru Muda	DOFF = Rp. 30.000,-/pcs
Penutup Talang 	Lebar : 460mm (Atas) / 390mm (Bawah) Warna : Putih & Biru Muda	DOFF = Rp. 32.000,-/pcs
ROOFSEAL®		
<p>(digunakan dengan SDS 6mmx75mm)</p>	Diameter: 32mm Warna : Putih & Biru Muda	DOFF = Rp. 20.000,-/pack (1 pack = 40 pcs)





### Technical informations.

Thread size		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	3/4
Pitch	mm.	6.35	7.94	9.52	11/11	12.70	14.29	15.88	19.05
	UNC	20	18	16	14	13	12	11	10
	UNF	28	24	24	20	20	18	18	16
Wire dia	min	6.22	7.79	9.37	19.93	12.52	14.08	15.67	18.82
Head heigh	max.	4.14	5.36	6.17	7.39	8.20	9.42	10.24	12.27
	min	3.81	4.95	5.74	6.91	7.67	8.84	9.60	11.56
Head width	max.	12.83	14.66	16.51	18.34	22.00	23.83	27.51	32.99
	min	12.40	14.15	15.95	17.73	21.34	23.11	26.70	31.85
Diagonal	e	7/16	1/2	9/16	5/8	3/4	13/16	15/16	1 1/8
Thread length	b <sup>1</sup>	19.05	22.23	25.40	28.58	31.75	34.93	38.10	44.45
	b <sup>2</sup>	25.40	28.58	31.75	34.93	38.10	41.28	44.45	50.80

b<sup>1</sup>: Thread length for bolts up to 6".

b<sup>2</sup>: Thread length for bolts more than 6"

Values are given in millimeters.

Thread size		1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	3/4
Length		Mass for 1.000 units in kg.							
5/8	15.88	5.94	9.98	14.70					
3/4	19.05	6.53	10.93	16.10	23.04	36.74			
7/8	22.23	7.12	11.88	17.51	24.95	39.28			
1	25.40	7.89	12.84	18.91	26.85	41.82	51.17	68.76	
1 1/8	28.58	8.66	14.06	20.48	28.76	44.36	54.41	72.78	
1 1/4	31.75	9.43	15.29	22.04	30.66	46.90	57.65	76.79	122.74
1 3/4	34.93	10.23	16.51	23.81	33.07	49.74	60.89	80.81	128.64
1 1/2	38.10	11.02	17.74	25.58	35.47	52.57	64.14	84.82	134.54
1 5/8	41.28	11.79	18.96	27.35	37.87	55.70	68.11	89.27	140.43
1 3/4	44.45	12.56	20.18	29.12	40.28	58.83	72.08	93.71	146.33
1 7/8	47.63	13.36	21.41	30.87	42.68	61.96	76.04	98.61	152.82
2	50.80	14.15	22.63	32.61	45.09	65.09	80.01	103.51	159.30
2 1/8	53.98	14.92	23.84	34.38	47.49	68.22	83.98	108.39	166.36
2 1/4	57.15	15.69	25.04	36.15	49.90	71.35	87.95	113.26	173.41
2 3/8	60.33	16.49	26.26	37.90	52.30	74.48	91.92	118.16	180.46
2 1/2	63.50	17.28	27.49	39.64	54.70	77.61	95.89	123.06	187.2
2 5/8	66.68	18.05	28.71	41.41	57.11	80.74	99.88	127.94	194.57
2 3/4	69.85	18.82	29.94	43.18	59.51	83.87	103.87	132.81	201.62
2 7/8	73.03	19.62	31.16	44.95	61.92	87.00	107.84	137.71	208.68
3	76.20	20.41	32.39	46.72	64.32	90.13	111.81	142.61	215.73
3 1/4	82.55	21.95		50.21	69.13	96.39	119.75	152.36	229.84
3 1/2	88.90	23.54		53.75	73.94	102.65	127.69	162.16	243.94
3 3/4	95.25	25.08		57.24	78.74	108.91	135.62	171.91	258.05
4	101.6	26.67		60.78	83.51	115.17	143.56	181.71	272.16
4 1/4	108.0	28.24		64.30	88.31	121.43	151.50	191.48	286.26
4 1/2	114.3	29.80		67.81	93.12	127.69	159.44	201.26	300.37
4 3/4	120.7	31.37		71.33	97.93	133.95	167.38	211.03	314.48
5	127.0	32.93		74.84	102.74	140.21	175.31	220.81	328.58
5 1/4	133.4			78.38	107.55	146.6	183.27	230.58	342.69
5 1/2	139.7			81.92	112.35	152.72	191.23	240.36	356.80
5 3/4	146.1			85.43	117.16	158.98	199.17	250.13	370.90
6	152.4			88.95	121.97	165.24	207.11	259.91	385.01

Length above thick stepped line are fully threaded.



## CV. ANUGERAH AJITAMA

### SUPPLIER MATERIAL BANGUNAN

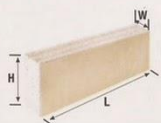
No. Telp : (031) 8959416 / 082220524447

Fax : (031) 8959416

Email : anugerahajitama@gmail.com

#### ► SPESIFIKASI TEKNIK

##### REGULAR BLOK

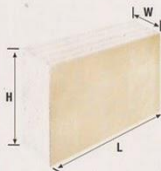


Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200
Tebal, W (mm)	: 75, 100, 125, 150, 175, 200
Berat jenis kering, (kg/m <sup>3</sup> )	: 490

Berat jenis normal, (kg/m <sup>3</sup> )	: 550
Kuat tekan, (N/mm <sup>2</sup> )	: ≥ 4.0
Dimensi per palet (meter)	: 1.00 x 1.20

TEBAL	mm	75	100	125	150	175	200
Volume	M <sup>3</sup>	1.80	1.80	1.80	1.80	1.68	1.92
Jumlah Blok / Pallet	blok	200	150	120	100	80	80
Isi / M <sup>3</sup>	blok	111.11	83.33	66.67	55.56	44.44	44.44
Berat per Pallet (tanpa Pallet)	Kg	990	990	990	990	924	1.056
Tinggi Kemasan (Termasuk Pallet)	Mtr	1.61	1.61	1.61	1.61	1.51	1.71

##### JUMBO BLOK

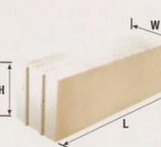


Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 400
Tebal, W (mm)	: 75, 100, 125, 150, 175, 200, 250
Berat jenis kering, (kg/m <sup>3</sup> )	: 490

Berat jenis normal, (kg/m <sup>3</sup> )	: 550
Kuat tekan, (N/mm <sup>2</sup> )	: ≥ 4.0
Dimensi per palet (meter)	: 1.20 x 1.20

TEBAL	mm	75	100	125	150	175	200	250
Volume	M <sup>3</sup>	1.73	1.73	1.62	1.73	1.51	1.73	1.44
Jumlah Blok / Pallet	blok	96	72	54	48	36	36	24
Isi / M <sup>3</sup>	blok	53.33	40.00	30.00	26.67	20.00	20.00	13.33
Berat per Pallet (tanpa Pallet)	Kg	950	950	891	950	832	950	792
Tinggi Kemasan (Termasuk Pallet)	Mtr	1.31	1.31	1.24	1.31	1.16	1.31	1.11

##### INTERLOCKING BLOK



Panjang, L (mm)	: 600
Tinggi, H (mm)	: 200
Tebal, W (mm)	: 150, 200
Berat jenis kering, (kg/m <sup>3</sup> )	: 490

Berat jenis normal, (kg/m <sup>3</sup> )	: 550
Kuat tekan, (N/mm <sup>2</sup> )	: ≥ 4.0
Dimensi per palet (meter)	: 1.00 x 1.20

TEBAL	mm	150	200
Volume	M <sup>3</sup>	1.80	1.92
Jumlah Blok / Pallet	blok	100	80
Isi / M <sup>3</sup>	blok	55.56	41.67
Berat per Pallet (tanpa Pallet)	Kg	990	1.056
Tinggi Kemasan (Termasuk Pallet)	Mtr	1.61	1.71



**LeichtBric**  
Autoclaved Aerated Concrete

Lantai 1

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A)		x	y	x.A	y.A	x.R	y.R	x'	y'	x'^2	y'^2	Fx.Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly	(m^2)																
Kolom 1	0,45	0,45	0,2025	0	0	0	0	0			-29,906	-3	894,384	9				1597,4	1609,8
Kolom 2	0,45	0,45	0,2025	8	0	1,62	0				-21,906	-3	479,884	9				1608,2	1609,8
Kolom 3	0,45	0,45	0,2025	16	0	3,24	0				-13,906	-3	193,384	9				1619,0	1609,8
Kolom 4	0,45	0,45	0,2025	24	0	4,86	0				-5,9062	-3	34,8838	9				1629,8	1609,8
Kolom 5	0,45	0,45	0,2025	32	0	6,48	0				2,09375	-3	4,38379	9				1640,6	1609,8
Kolom 6	0,45	0,45	0,2025	40	0	8,1	0				10,0938	-3	101,884	9				1651,4	1609,8
Kolom 7	0,45	0,45	0,2025	48	0	9,72	0				18,0938	-3	327,384	9				1662,2	1609,8
Kolom 8	0,45	0,45	0,2025	56	0	11,34	0				26,0938	-3	680,884	9				1673,1	1609,8
Kolom 9	0,45	0,45	0,2025	64	0	12,96	0				34,0938	-3	1162,38	9				1683,9	1609,8
Kolom 10	0,45	0,45	0,2025	70,5	0	14,2763	0				40,5938	-3	1647,85	9				1692,6	1609,8
Kolom 11	0,45	0,45	0,2025	0	8	0	1,62				-29,906	5	894,384	25				1597,4	1684,4
Kolom 12	0,45	0,45	0,2025	8	8	1,62	1,62				-21,906	5	479,884	25				1608,2	1684,4
Kolom 13	0,45	0,45	0,2025	16	8	3,24	1,62				-13,906	5	193,384	25				1619,0	1684,4
Kolom 14	0,45	0,45	0,2025	24	8	4,86	1,62				-5,9062	5	34,8838	25				1629,8	1684,4
Kolom 15	0,45	0,45	0,2025	32	8	6,48	1,62				2,09375	5	4,38379	25				1640,6	1684,4
Kolom 16	0,45	0,45	0,2025	40	8	8,1	1,62				10,0938	5	101,884	25				1651,4	1684,4
Kolom 17	0,45	0,45	0,2025	48	8	9,72	1,62				18,0938	5	327,384	25				1662,2	1684,4
Kolom 18	0,45	0,45	0,2025	56	8	11,34	1,62				26,0938	5	680,884	25				1673,1	1684,4
Kolom 19	0,45	0,45	0,2025	64	8	12,96	1,62				34,0938	5	1162,38	25				1683,9	1684,4
Kolom 20	0,45	0,45	0,2025	70,5	8	14,2763	1,62				40,5938	5	1647,85	25				1692,6	1684,4
Kolom 21	0,45	0,45	0,2025	0	16	0	3,24				-29,906	13	894,384	169				1597,4	1759,0
Kolom 22	0,45	0,45	0,2025	8	16	1,62	3,24				-21,906	13	479,884	169				1608,2	1759,0
Kolom 23	0,45	0,45	0,2025	16	16	3,24	3,24				-13,906	13	193,384	169				1619,0	1759,0
Kolom 24	0,45	0,45	0,2025	24	16	4,86	3,24				-5,9062	13	34,8838	169				1629,8	1759,0
Kolom 25	0,45	0,45	0,2025	32	16	6,48	3,24				2,09375	13	4,38379	169				1640,6	1759,0
Kolom 26	0,45	0,45	0,2025	40	16	8,1	3,24				10,0938	13	101,884	169				1651,4	1759,0
Kolom 27	0,45	0,45	0,2025	48	16	9,72	3,24				18,0938	13	327,384	169				1662,2	1759,0
Kolom 28	0,45	0,45	0,2025	56	16	11,34	3,24				26,0938	13	680,884	169				1673,1	1759,0
Kolom 29	0,45	0,45	0,2025	64	16	12,96	3,24				34,0938	13	1162,38	169				1683,9	1759,0
Kolom 30	0,45	0,45	0,2025	70,5	16	14,2763	3,24				40,5938	13	1647,85	169				1692,6	1759,0
Kolom 31	0,45	0,45	0,2025	0	24	0	4,86				-29,906	21	894,384	441				1597,4	1833,6
Kolom 32	0,45	0,45	0,2025	8	24	1,62	4,86				-21,906	21	479,884	441				1608,2	1833,6
Kolom 33	0,45	0,45	0,2025	16	24	3,24	4,86				-13,906	21	193,384	441				1619,0	1833,6
Kolom 34	0,45	0,45	0,2025	24	24	4,86	4,86				-5,9062	21	34,8838	441				1629,8	1833,6
Kolom 35	0,45	0,45	0,2025	32	24	6,48	4,86				2,09375	21	4,38379	441				1640,6	1833,6
Kolom 36	0,45	0,45	0,2025	40	24	8,1	4,86				10,0938	21	101,884	441				1651,4	1833,6
Kolom 37	0,45	0,45	0,2025	48	24	9,72	4,86				18,0938	21	327,384	441				1662,2	1833,6
Kolom 38	0,45	0,45	0,2025	56	24	11,34	4,86				26,0938	21	680,884	441				1673,1	1833,6
Kolom 39	0,45	0,45	0,2025	64	24	12,96	4,86				34,0938	21	1162,38	441				1683,9	1833,6
Kolom 40	0,45	0,45	0,2025	70,5	24	14,2763	4,86				40,5938	21	1647,85	441				1692,6	1833,6
Kolom 41	0,5	0,5	0,25	0	32	0	8				-29,906	29	894,384	841				1597,4	1908,1
Kolom 42	0,5	0,5	0,25	8	32	2	8				-21,906	29	479,884	841				1608,2	1908,1
Kolom 43	0,5	0,5	0,25	16	32	4	8				-13,906	29	193,384	841				1619,0	1908,1
Kolom 44	0,5	0,5	0,25	24	32	6	8				-5,9062	29	34,8838	841				1629,8	1908,1
Kolom 45	0,5	0,5	0,25	32	32	8	8				2,09375	29	4,38379	841				1640,6	1908,1
Kolom 46	0,5	0,5	0,25	40	32	10	8				10,0938	29	101,884	841				1651,4	1908,1
Kolom 47	0,5	0,5	0,25	48	32	12	8				18,0938	29	327,384	841				1662,2	1908,1
Kolom 48	0,5	0,5	0,25	56	32	14	8				26,0938	29	680,884	841				1673,1	1908,1
Kolom 49	0,5	0,5	0,25	64	32	16	8				34,0938	29	1162,38	841				1683,9	1908,1
Kolom 50	0,5	0,5	0,25	70,5	32	17,625	8				40,5938	29	1647,85	841				1692,6	1908,1

3

29,9063

252700,0

19653,6

51534,2



Kohm 51	0,5	0,5	0,25	0	42	0	10,5	-29,906	39	894,384	1521	1597,4	2001,4
Kohm 52	0,5	0,5	0,25	8	42	2	10,5	-13,906	39	479,884	1521	1608,2	2001,4
Kohm 53	0,5	0,5	0,25	16	42	4	10,5	-13,906	39	193,384	1521	1619,0	2001,4
Kohm 54	0,5	0,5	0,25	24	42	6	10,5	-5,9062	39	34,8838	1521	1629,8	2001,4
Kohm 55	0,5	0,5	0,25	32	42	8	10,5	2,09375	39	4,38379	1521	1640,6	2001,4
Kohm 56	0,5	0,5	0,25	40	42	10	10,5	10,0938	39	101,884	1521	1651,4	2001,4
Kohm 57	0,5	0,5	0,25	48	42	12	10,5	18,0938	39	327,384	1521	1662,2	2001,4
Kohm 58	0,5	0,5	0,25	56	42	14	10,5	26,0938	39	680,884	1521	1673,1	2001,4
Kohm 59	0,5	0,5	0,25	64	42	16	10,5	34,0938	39	1162,38	1521	1683,9	2001,4
Kohm 60	0,5	0,5	0,25	70,5	42	17,625	10,5	40,5938	39	1647,85	1521	1692,6	2001,4
Kohm 61	0,5	0,5	0,25	0	52	0	13	-29,906	49	894,384	2401	1597,4	2094,6
Kohm 62	0,5	0,5	0,25	8	52	2	13	-21,906	49	479,884	2401	1608,2	2094,6
Kohm 63	0,5	0,5	0,25	16	52	4	13	-13,906	49	193,384	2401	1619,0	2094,6
Kohm 64	0,5	0,5	0,25	24	52	6	13	-5,9062	49	34,8838	2401	1629,8	2094,6
Kohm 65	0,5	0,5	0,25	32	52	8	13	2,09375	49	4,38379	2401	1640,6	2094,6
Kohm 66	0,5	0,5	0,25	40	52	10	13	10,0938	49	101,884	2401	1651,4	2094,6
Kohm 67	0,5	0,5	0,25	48	52	12	13	18,0938	49	327,384	2401	1662,2	2094,6
Kohm 68	0,5	0,5	0,25	56	52	14	13	26,0938	49	680,884	2401	1673,1	2094,6
Kohm 69	0,5	0,5	0,25	64	52	16	13	34,0938	49	1162,38	2401	1683,9	2094,6
Kohm 70	0,5	0,5	0,25	70,5	52	17,625	13	40,5938	49	1647,85	2401	1692,6	2094,6
Kohm 71	0,5	0,5	0,25	0	62	0	15,5	-29,906	59	894,384	3481	1597,4	2187,8
Kohm 72	0,5	0,5	0,25	8	62	2	15,5	-21,906	59	479,884	3481	1608,2	2187,8
Kohm 73	0,5	0,5	0,25	16	62	4	15,5	-13,906	59	193,384	3481	1619,0	2187,8
Kohm 74	0,5	0,5	0,25	24	62	6	15,5	-5,9062	59	34,8838	3481	1629,8	2187,8
Kohm 75	0,5	0,5	0,25	32	62	8	15,5	2,09375	59	4,38379	3481	1640,6	2187,8
Kohm 76	0,5	0,5	0,25	40	62	10	15,5	10,0938	59	101,884	3481	1651,4	2187,8
Kohm 77	0,5	0,5	0,25	48	62	12	15,5	18,0938	59	327,384	3481	1662,2	2187,8
Kohm 78	0,5	0,5	0,25	56	62	14	15,5	26,0938	59	680,884	3481	1673,1	2187,8
Kohm 79	0,5	0,5	0,25	64	62	16	15,5	34,0938	59	1162,38	3481	1683,9	2187,8
Kohm 80	0,5	0,5	0,25	70,5	62	17,625	15,5	40,5938	59	1647,85	3481	1692,6	2187,8
Kohm 81	0,45	0,45	0,2025	0	70	0	14,175	-29,906	67	894,384	4489	1597,4	2262,4
Kohm 82	0,45	0,45	0,2025	8	70	1,62	14,175	-21,906	67	479,884	4489	1608,2	2262,4
Kohm 83	0,45	0,45	0,2025	16	70	3,24	14,175	-13,906	67	193,384	4489	1619,0	2262,4
Kohm 84	0,45	0,45	0,2025	24	70	4,86	14,175	-5,9062	67	34,8838	4489	1629,8	2262,4
Kohm 85	0,45	0,45	0,2025	32	70	6,48	14,175	2,09375	67	4,38379	4489	1640,6	2262,4
Kohm 86	0,45	0,45	0,2025	40	70	8,1	14,175	10,0938	67	101,884	4489	1651,4	2262,4
Kohm 87	0,45	0,45	0,2025	48	70	9,72	14,175	18,0938	67	327,384	4489	1662,2	2262,4
Kohm 88	0,45	0,45	0,2025	56	70	11,34	14,175	26,0938	67	680,884	4489	1673,1	2262,4
Kohm 89	0,45	0,45	0,2025	64	70	12,96	14,175	34,0938	67	1162,38	4489	1683,9	2262,4
Kohm 90	0,45	0,45	0,2025	70,5	70	14,2763	14,175	40,5938	67	1647,85	4489	1692,6	2262,4
Kohm 91	0,45	0,45	0,2025	0	76	0	15,39	-29,906	73	894,384	5329	1597,4	2318,3
Kohm 92	0,45	0,45	0,2025	8	76	1,62	15,39	-21,906	73	479,884	5329	1608,2	2318,3
Kohm 93	0,45	0,45	0,2025	16	76	3,24	15,39	-13,906	73	193,384	5329	1619,0	2318,3
Kohm 94	0,45	0,45	0,2025	24	76	4,86	15,39	-5,9062	73	34,8838	5329	1629,8	2318,3
Kohm 95	0,45	0,45	0,2025	32	76	6,48	15,39	2,09375	73	4,38379	5329	1640,6	2318,3
Kohm 96	0,45	0,45	0,2025	40	76	8,1	15,39	10,0938	73	101,884	5329	1651,4	2318,3
Kohm 97	0,45	0,45	0,2025	48	76	9,72	15,39	18,0938	73	327,384	5329	1662,2	2318,3
Kohm 98	0,45	0,45	0,2025	56	76	11,34	15,39	26,0938	73	680,884	5329	1673,1	2318,3
Kohm 99	0,45	0,45	0,2025	64	76	12,96	15,39	34,0938	73	1162,38	5329	1683,9	2318,3
Kohm 100	0,45	0,45	0,2025	70,5	76	14,2763	15,39	40,5938	73	1647,85	5329	1692,6	2318,3
			3,24			96,8963	9,72	594,375	3520	55273,1	187060		

3 13,294,2

42,4/100,0

1,9633,0

Lantai 2																					
Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m <sup>2</sup> )	x	y	x.A	y.A	xR	yR	x'	y'	x''2	y''2	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy			
	Lx	Ly																			
Kolom 1	0,45	0,45	0,2025	0	0	0	0			-29,906	-3	894,384	9				4041,3	4072,6			
Kolom 2	0,45	0,45	0,2025	8	0	1,62	0			-21,906	-3	479,884	9				4068,6	4072,6			
Kolom 3	0,45	0,45	0,2025	16	0	3,24	0			-13,906	-3	193,384	9				4095,4	4072,6			
Kolom 4	0,45	0,45	0,2025	24	0	4,86	0			-5,9062	-3	34,838	9				4123,2	4072,6			
Kolom 5	0,45	0,45	0,2025	32	0	6,48	0			2,09375	-3	4,38779	9				4150,5	4072,6			
Kolom 6	0,45	0,45	0,2025	40	0	8,1	0			10,0938	-3	101,884	9				4177,8	4072,6			
Kolom 7	0,45	0,45	0,2025	48	0	9,72	0			18,0938	-3	327,384	9				4205,1	4072,6			
Kolom 8	0,45	0,45	0,2025	56	0	11,34	0			26,0938	-3	680,884	9				4232,4	4072,6			
Kolom 9	0,45	0,45	0,2025	64	0	12,96	0			34,0938	-3	1162,38	9				4259,7	4072,6			
Kolom 10	0,45	0,45	0,2025	70,5	0	14,2763	0			40,5938	-3	1647,85	9				4281,9	4072,6			
Kolom 11	0,45	0,45	0,2025	0	8	0	1,62			-29,906	5	894,384	25				4041,3	4261,2			
Kolom 12	0,45	0,45	0,2025	8	8	1,62	1,62			-21,906	5	479,884	25				4068,6	4261,2			
Kolom 13	0,45	0,45	0,2025	16	8	3,24	1,62			-13,906	5	193,384	25				4095,4	4261,2			
Kolom 14	0,45	0,45	0,2025	24	8	4,86	1,62			-5,9062	5	34,838	25				4123,2	4261,2			
Kolom 15	0,45	0,45	0,2025	32	8	6,48	1,62			2,09375	5	4,38779	25				4150,5	4261,2			
Kolom 16	0,45	0,45	0,2025	40	8	8,1	1,62			10,0938	5	101,884	25				4177,8	4261,2			
Kolom 17	0,45	0,45	0,2025	48	8	9,72	1,62			18,0938	5	327,384	25				4205,1	4261,2			
Kolom 18	0,45	0,45	0,2025	56	8	11,34	1,62			26,0938	5	680,884	25				4232,4	4261,2			
Kolom 19	0,45	0,45	0,2025	64	8	12,96	1,62			34,0938	5	1162,38	25				4259,7	4261,2			
Kolom 20	0,45	0,45	0,2025	70,5	8	14,2763	1,62			40,5938	5	1647,85	25				4281,9	4261,2			
Kolom 21	0,45	0,45	0,2025	0	16	0	3,24			-29,906	13	894,384	169				4041,3	4449,7			
Kolom 22	0,45	0,45	0,2025	8	16	1,62	3,24			-21,906	13	479,884	169				4068,6	4449,7			
Kolom 23	0,45	0,45	0,2025	16	16	3,24	3,24			-13,906	13	193,384	169				4095,4	4449,7			
Kolom 24	0,45	0,45	0,2025	24	16	4,86	3,24			-5,9062	13	34,838	169				4123,2	4449,7			
Kolom 25	0,45	0,45	0,2025	32	16	6,48	3,24			2,09375	13	4,38779	169				4150,5	4449,7			
Kolom 26	0,45	0,45	0,2025	40	16	8,1	3,24			10,0938	13	101,884	169				4177,8	4449,7			
Kolom 27	0,45	0,45	0,2025	48	16	9,72	3,24			18,0938	13	327,384	169				4205,1	4449,7			
Kolom 28	0,45	0,45	0,2025	56	16	11,34	3,24			26,0938	13	680,884	169				4232,4	4449,7			
Kolom 29	0,45	0,45	0,2025	64	16	12,96	3,24			34,0938	13	1162,38	169				4259,7	4449,7			
Kolom 30	0,45	0,45	0,2025	70,5	16	14,2763	3,24			40,5938	13	1647,85	169				4281,9	4449,7			
Kolom 31	0,45	0,45	0,2025	0	24	0	4,86			-29,906	21	894,384	441				4041,3	4638,2			
Kolom 32	0,45	0,45	0,2025	8	24	1,62	4,86			-21,906	21	479,884	441				4068,6	4638,2			
Kolom 33	0,45	0,45	0,2025	16	24	3,24	4,86			-13,906	21	193,384	441				4095,4	4638,2			
Kolom 34	0,45	0,45	0,2025	24	24	4,86	4,86			-5,9062	21	34,838	441				4123,2	4638,2			
Kolom 35	0,45	0,45	0,2025	32	24	6,48	4,86			2,09375	21	4,38779	441				4150,5	4638,2			
Kolom 36	0,45	0,45	0,2025	40	24	8,1	4,86			10,0938	21	101,884	441				4177,8	4638,2			
Kolom 37	0,45	0,45	0,2025	48	24	9,72	4,86			18,0938	21	327,384	441				4205,1	4638,2			
Kolom 38	0,45	0,45	0,2025	56	24	11,34	4,86			26,0938	21	680,884	441				4232,4	4638,2			
Kolom 39	0,45	0,45	0,2025	64	24	12,96	4,86			34,0938	21	1162,38	441				4259,7	4638,2			
Kolom 40	0,45	0,45	0,2025	70,5	24	14,2763	4,86			40,5938	21	1647,85	441				4281,9	4638,2			
Kolom 41	0,5	0,5	0,25	0	32	0	8			-29,906	29	894,384	841				4041,3	4826,7			
Kolom 42	0,5	0,5	0,25	8	32	2	8			-21,906	29	479,884	841				4068,6	4826,7			
Kolom 43	0,5	0,5	0,25	16	32	4	8			-13,906	29	193,384	841				4095,4	4826,7			
Kolom 44	0,5	0,5	0,25	24	32	6	8			-5,9062	29	34,838	841				4123,2	4826,7			
Kolom 45	0,5	0,5	0,25	32	32	8	8			2,09375	29	4,38779	841				4150,5	4826,7			
Kolom 46	0,5	0,5	0,25	40	32	10	8			10,0938	29	101,884	841				4177,8	4826,7			
Kolom 47	0,5	0,5	0,25	48	32	12	8			18,0938	29	327,384	841				4205,1	4826,7			
Kolom 48	0,5	0,5	0,25	56	32	14	8			26,0938	29	680,884	841				4232,4	4826,7			
Kolom 49	0,5	0,5	0,25	64	32	16	8			34,0938	29	1162,38	841				4259,7	4826,7			
Kolom 50	0,5	0,5	0,25	70,5	32	17,6523	8			40,5938	29	1647,85	841				4281,9	4826,7			
Kolom 51	0,5	0,5	0,25	0	40	0	10,5			-29,906	39	894,384	1521				4041,3	5062,3			
Kolom 52	0,5	0,5	0,25	8	40	2	10,5			-21,906	39	479,884	1521				4068,6	5062,3			
Kolom 53	0,5	0,5	0,25	16	40	4	10,5			-13,906	39	193,384	1521				4095,4	5062,3			
Kolom 54	0,5	0,5	0,25	24	40	6	10,5			-5,9062	39	34,838	1521				4123,2	5062,3			
Kolom 55	0,5	0,5	0,25	32	40	8	10,5			2,09375	39	4,38779	1521				4150,5	5062,3			
Kolom 56	0,5	0,5	0,25	40	40	10	10,5			10,0938	39	101,884	1521				4177,8	5062,3			
Kolom 57	0,5	0,5	0,25	48	40	12	10,5			18,0938	39	327,384	1521				4205,1	5062,3			
Kolom 58	0,5	0,5	0,25	56	40	14	10,5			26,0938	39	680,884	1521				4232,4	5062,3			
Kolom 59	0,5	0,5	0,25	64	40	16	10,5			34,0938	39	1162,38	1521				4259,7	5062,3			
Kolom 60	0,5	0,5	0,25	70,5	40	17,6523	10,5			40,5938	39	1647,85	1521				4281,9	5062,3			
Kolom 61	0,5	0,5	0,25	0	48	0	13			-29,906	49	894,384	2401				4041,3	5297,9			
Kolom 62	0,5	0,5	0,25	8	48	2	13			-21,906	49	479,884	2401				4068,6	5297,9			
Kolom 63	0,5	0,5	0,25	16	48	4	13			-13,906	49	193,384	2401				4095,4	5297,9			
Kolom 64	0,5	0,5	0,25	24	48	6	13			-5,9062	49	34,838	2401				4123,2	5297,9			
Kolom 65	0,5	0,5	0,25	32	48	8	13			2,09375	49	4,38779	2401				4150,5	5297,9			
Kolom 66	0,5	0,5	0,25	40	48	10	13			10,0938	49	101,884	2401				4177,8	5297,9			
Kolom 67	0,5	0,5	0,25	48	48	12	13			18,0938	49	327,384	2401				4205,1	5297,9			
Kolom 68	0,5	0,5	0,25	56	48	14	13			26,0938	49	680,884	2401				4232,4	5297,9			
Kolom 69	0,5	0,5	0,25	64	48	15,2	13			34,0938	49	1162,38	2401				4259,7	5297,9			
Kolom 70	0,5	0,5	0,25	70,5	48	17,6523	13			40,5938	49	1647,85	2401				4281,9	5297,9			
Kolom 71	0,5	0,5	0,25	0	60	0	15,5			-29,906	59	894,384	3481				4041,3	5533,6			
Kolom 72	0,5	0,5	0,25	8	60	2	15,5			-21,906	59	479,884	3481				4068,6	5533,6			
Kolom 73	0,5	0,5	0,25	16	60	4	15,5			-13,906	59	193,384	3481				4095,4	5533,6			
Kolom 74	0,5	0,5	0,25	24	60	6	15,5			-5,9062	59	34,838	3481				4123,2	5533,6			
Kolom 75	0,5	0,5	0,25	32	60	8	15,5			2,09375	59	4,38779	3481				4150,5	5533,6			
Kolom 76	0,5	0,5	0,25	40	60	10	15,5			10,0938	59	101,884	3481								

Lantai 3																					
Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m <sup>2</sup> )	x	y	x.A	y.A	xR	yR	x'	y'	x'^2	y'^2	Fx.Fy	Ms	My	Fx	Fy			
	Lx	Ly																			
Kolom 1	0,45	0,45	0,2025	0	0	0	0			-33,115	-1,8462	1096,63	3,40828				7312,2	7561,1			
Kolom 2	0,45	0,45	0,2025	8	0	1,62	0			-33,115	-1,8462	1096,63	3,40828				7382,1	7561,1			
Kolom 3	0,45	0,45	0,2025	16	0	3,24	0			-17,115	-1,8462	292,936	3,40828				7452,0	7561,1			
Kolom 4	0,45	0,45	0,2025	24	0	4,86	0			-9,1154	-1,8462	83,0902	3,40828				7521,8	7561,1			
Kolom 5	0,45	0,45	0,2025	32	0	6,48	0			-1,1154	-1,8462	1,24408	3,40828				7591,7	7561,1			
Kolom 6	0,45	0,45	0,2025	40	0	8,1	0			6,88462	-1,8462	47,3979	3,40828				7661,5	7561,1			
Kolom 7	0,45	0,45	0,2025	48	0	9,72	0			14,8846	-1,8462	221,552	3,40828				7731,4	7561,1			
Kolom 8	0,45	0,45	0,2025	56	0	11,34	0			22,8846	-1,8462	523,706	3,40828				7801,2	7561,1			
Kolom 9	0,45	0,45	0,2025	64	0	12,96	0			30,8846	-1,8462	953,859	3,40828				7871,1	7561,1			
Kolom 10	0,45	0,45	0,2025	70,5	0	14,7937	0			37,3846	-1,8462	1397,61	3,40828				7927,0	7561,1			
Kolom 11	0,45	0,45	0,2025	0	8	0	1,62			-33,115	6,15385	1096,63	37,8698				7312,2	7735,9			
Kolom 15	0,45	0,45	0,2025	32	8	6,48	1,62			-1,1154	6,15385	1,24408	37,8698				7591,7	7735,9			
Kolom 16	0,45	0,45	0,2025	40	8	8,1	1,62			6,88462	6,15385	47,3979	37,8698				7661,5	7735,9			
Kolom 18	0,45	0,45	0,2025	56	8	11,34	1,62			22,8846	6,15385	523,706	37,8698				7801,2	7735,9			
Kolom 20	0,45	0,45	0,2025	70,5	8	14,7937	1,62			37,3846	6,15385	1397,61	37,8698				7927,0	7735,9			
Kolom 21	0,45	0,45	0,2025	0	16	0	3,24			-33,115	14,1538	1096,63	200,331				7312,2	7910,8			
Kolom 22	0,45	0,45	0,2025	16	16	3,24	3,24			-17,115	14,1538	292,936	200,331				7452,0	7910,8			
Kolom 25	0,45	0,45	0,2025	32	16	6,48	3,24			-9,1154	14,1538	83,0902	200,331				7521,8	7910,8			
Kolom 28	0,45	0,45	0,2025	56	16	11,34	3,24			22,8846	14,1538	523,706	200,331				7801,2	7910,8			
Kolom 30	0,45	0,45	0,2025	70,5	16	14,7937	3,24			37,3846	14,1538	1397,61	200,331				7927,0	7910,8			
Kolom 31	0,45	0,45	0,2025	0	24	0	4,86			-33,115	22,1538	1096,63	490,793				7312,2	8085,6			
Kolom 38	0,45	0,45	0,2025	56	24	11,34	4,86			22,8846	22,1538	523,706	490,793				7801,2	8085,6			
Kolom 40	0,45	0,45	0,2025	70,5	24	14,7937	4,86			37,3846	22,1538	1397,61	490,793				7927,0	8085,6			
Kolom 41	0,5	0,5	0,25	0	32	0	8			-33,115	30,1538	1096,63	909,254				7312,2	8260,5			
Kolom 43	0,5	0,5	0,25	16	32	4	8			-17,115	30,1538	292,936	909,254				7452,0	8260,5			
Kolom 45	0,5	0,5	0,25	32	32	8	8			-9,1154	30,1538	83,0902	909,254				7521,8	8260,5			
Kolom 46	0,5	0,5	0,25	40	32	10	8			6,88462	30,1538	47,3979	909,254				7661,5	8260,5			
Kolom 48	0,5	0,5	0,25	56	32	14	8			22,8846	30,1538	523,706	909,254				7801,2	8260,5			
Kolom 50	0,5	0,5	0,25	70,5	32	17,625	8			37,3846	30,1538	1397,61	909,254				7927,0	8260,5			
Kolom 51	0,5	0,5	0,25	0	42	0	10,5			-33,115	40,1538	1096,63	1612,33				7312,2	8479,1			
Kolom 52	0,5	0,5	0,25	8	42	2	10,5			-25,115	40,1538	630,783	1612,33				7382,1	8479,1			
Kolom 54	0,5	0,5	0,25	24	42	6	10,5			-9,1154	40,1538	83,0902	1612,33				7521,8	8479,1			
Kolom 56	0,5	0,5	0,25	40	42	10	10,5			6,88462	40,1538	47,3979	1612,33				7661,5	8479,1			
Kolom 58	0,5	0,5	0,25	56	42	14	10,5			22,8846	40,1538	523,706	1612,33				7801,2	8479,1			
Kolom 60	0,5	0,5	0,25	70,5	42	17,625	10,5			37,3846	40,1538	1397,61	1612,33				7927,0	8479,1			
Kolom 61	0,5	0,5	0,25	0	52	0	13			-33,115	50,1538	1096,63	2515,41				7312,2	8697,6			
Kolom 62	0,5	0,5	0,25	8	52	2	13			-25,115	50,1538	630,783	2515,41				7382,1	8697,6			
Kolom 63	0,5	0,5	0,25	16	52	4	13			-17,115	50,1538	292,936	2515,41				7452,0	8697,6			
Kolom 65	0,5	0,5	0,25	32	52	8	13			-9,1154	50,1538	83,0902	2515,41				7521,8	8697,6			
Kolom 66	0,5	0,5	0,25	40	52	10	13			6,88462	50,1538	47,3979	2515,41				7661,5	8697,6			
Kolom 68	0,5	0,5	0,25	56	52	14	13			22,8846	50,1538	523,706	2515,41				7801,2	8697,6			
Kolom 70	0,5	0,5	0,25	70,5	52	17,625	13			37,3846	50,1538	1397,61	2515,41				7927,0	8697,6			
Kolom 71	0,5	0,5	0,25	0	62	0	15,5			-33,115	60,1538	1096,63	3618,49				7312,2	8916,2			
Kolom 73	0,5	0,5	0,25	16	62	4	15,5			-17,115	60,1538	292,936	3618,49				7452,0	8916,2			
Kolom 80	0,5	0,5	0,25	70,5	62	17,625	15,5			37,3846	60,1538	1397,61	3618,49				7927,0	8916,2			
Kolom 81	0,45	0,45	0,2025	0	70	0	14,175			-33,115	68,1538	1096,63	4644,95				7312,2	9091,0			
Kolom 85	0,45	0,45	0,2025	32	70	6,48	14,175			-1,1154	68,1538	1,24408	4644,95				7591,7	9091,0			
Kolom 86	0,45	0,45	0,2025	40	70	8,1	14,175			6,88462	68,1538	47,3979	4644,95				7661,5	9091,0			
Kolom 87	0,45	0,45	0,2025	48	70	9,72	14,175			14,8846	68,1538	221,552	4644,95				7731,4	9091,0			
Kolom 88	0,45	0,45	0,2025	56	70	11,34	14,175			22,8846	68,1538	523,706	4644,95				7801,2	9091,0			
Kolom 89	0,45	0,45	0,2025	64	70	12,96	14,175			30,8846	68,1538	953,859	4644,95				7871,1	9091,0			
Kolom 90	0,45	0,45	0,2025	70,5	70	14,7937	14,175			37,3846	68,1538	1397,61	4644,95				7927,0	9091,0			
Kolom 91	0,45	0,45	0,2025	0	76	0	15,39			-33,115	74,1538	1096,63	5498,79				7312,2	9222,2			
Kolom 92	0,45	0,45	0,2025	8	76	1,62	15,39			-25,115	74,1538	630,783	5498,79				7382,1	9222,2			
Kolom 93	0,45	0,45	0,2025	16	76	3,24	15,39			-17,115	74,1538	292,936	5498,79				7452,0	9222,2			
Kolom 94	0,45	0,45	0,2025	24	76	4,86	15,39			-9,1154	74,1538	83,0902	5498,79				7521,8	9222,2			
Kolom 95	0,45	0,45	0,2025	32	76	6,48	15,39			-1,1154	74,1538	1,24408	5498,79				7591,7	9222,2			
Kolom 96	0,45	0,45	0,2025	40	76	8,1	15,39			6,88462	74,1538	47,3979	5498,79				7661,5	9222,2			
Kolom 97	0,45	0,45	0,2025	48	76	9,72	15,39			14,8846	74,1538	221,552	5498,79				7731,4	9222,2			
Kolom 98	0,45	0,45	0,2025	56	76	11,34	15,39			22,8846	74,1538	523,706	5498,79				7801,2	9222,2			
Kolom 99	0,45	0,45	0,2025	64	76	12,96	15,39			30,8846	74,1538	953,859	5498,79				7871,1	9222,2			
Kolom 100	0,45	0,45	0,2025	70,5	76	14,7937	15,39			37,3846	74,1538	1397,61	5498,79				7927,0	9222,2			
			2,6325			87,1763	4,86			195,846	2321,54	38052,5	133793								



Lantai Dasar

Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m <sup>2</sup> )	x	y	x.A	y.A	xR	yR	x'	y'	x'^2	y'^2	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
	Lx	Ly																
Kolom 1	0,45	0,45	0,2025	0	0	0	0			-29,906	-3	894,384	9				124,8	124,8
Kolom 2	0,45	0,45	0,2025	8	0	1,62	0			-21,906	-3	479,884	9				125,0	124,6
Kolom 3	0,45	0,45	0,2025	16	0	7,24	0			-13,906	-3	193,384	9				126,3	124,6
Kolom 4	0,45	0,45	0,2025	24	0	4,86	0			-5,9062	-3	34,838	9				127,3	124,6
Kolom 5	0,45	0,45	0,2025	32	0	6,48	0			2,90375	-3	4,38379	9				128,1	124,6
Kolom 6	0,45	0,45	0,2025	40	0	8,1	0			10,0938	-3	101,884	9				128,4	124,6
Kolom 7	0,45	0,45	0,2025	48	0	9,72	0			18,0938	-3	327,384	9				129,0	124,6
Kolom 8	0,45	0,45	0,2025	56	0	11,34	0			26,0938	-3	680,884	9				130,6	124,6
Kolom 9	0,45	0,45	0,2025	64	0	12,96	0			34,0938	-3	1162,38	9				131,4	124,6
Kolom 10	0,45	0,45	0,2025	70,5	0	14,763	0			40,5938	-3	1647,85	9				131,1	124,6
Kolom 11	0,45	0,45	0,2025	0	8	0	1,62			29,906	5	894,384	25				124,8	133,4
Kolom 12	0,45	0,45	0,2025	8	8	1,62	1,62			-21,906	5	479,884	25				125,0	133,4
Kolom 13	0,45	0,45	0,2025	16	8	7,24	1,62			-13,906	5	193,384	25				126,3	133,4
Kolom 14	0,45	0,45	0,2025	24	8	4,86	1,62			-5,9062	5	34,838	25				127,3	133,4
Kolom 15	0,45	0,45	0,2025	32	8	6,48	1,62			2,90375	5	4,38379	25				128,1	133,4
Kolom 16	0,45	0,45	0,2025	40	8	8,1	1,62			10,0938	5	101,884	25				128,4	133,4
Kolom 17	0,45	0,45	0,2025	48	8	9,72	1,62			18,0938	5	327,384	25				129,0	133,4
Kolom 18	0,45	0,45	0,2025	56	8	11,34	1,62			26,0938	5	680,884	25				129,8	133,4
Kolom 19	0,45	0,45	0,2025	64	8	12,96	1,62			34,0938	5	1162,38	25				131,4	133,4
Kolom 20	0,45	0,45	0,2025	70,5	8	14,763	1,62			40,5938	5	1647,85	25				132,1	133,4
Kolom 21	0,45	0,45	0,2025	0	16	0	3,24			-29,906	13	894,384	169				124,8	142,2
Kolom 22	0,45	0,45	0,2025	8	16	1,62	3,24			-21,906	13	479,884	169				125,0	142,2
Kolom 23	0,45	0,45	0,2025	16	16	7,24	3,24			-13,906	13	193,384	169				126,3	142,2
Kolom 24	0,45	0,45	0,2025	24	16	4,86	3,24			-5,9062	13	34,838	169				127,3	142,2
Kolom 25	0,45	0,45	0,2025	32	16	6,48	3,24			2,90375	13	4,38379	169				128,1	142,2
Kolom 26	0,45	0,45	0,2025	40	16	8,1	3,24			10,0938	13	101,884	169				128,4	142,2
Kolom 27	0,45	0,45	0,2025	48	16	9,72	3,24			18,0938	13	327,384	169				129,0	142,2
Kolom 28	0,45	0,45	0,2025	56	16	11,34	3,24			26,0938	13	680,884	169				130,6	142,2
Kolom 29	0,45	0,45	0,2025	64	16	12,96	3,24			34,0938	13	1162,38	169				131,4	142,2
Kolom 30	0,45	0,45	0,2025	70,5	16	14,763	3,24			40,5938	13	1647,85	169				132,1	142,2
Kolom 31	0,45	0,45	0,2025	0	24	0	4,86			-29,906	21	894,384	441				124,8	151,0
Kolom 32	0,45	0,45	0,2025	8	24	1,62	4,86			-21,906	21	479,884	441				125,0	151,0
Kolom 33	0,45	0,45	0,2025	16	24	7,24	4,86			-13,906	21	193,384	441				126,3	151,0
Kolom 34	0,45	0,45	0,2025	24	24	4,86	4,86			-5,9062	21	34,838	441				127,3	151,0
Kolom 35	0,45	0,45	0,2025	32	24	6,48	4,86			2,90375	21	4,38379	441				128,1	151,0
Kolom 36	0,45	0,45	0,2025	40	24	8,1	4,86			10,0938	21	101,884	441				128,4	151,0
Kolom 37	0,45	0,45	0,2025	48	24	9,72	4,86			18,0938	21	327,384	441				129,0	151,0
Kolom 38	0,45	0,45	0,2025	56	24	11,34	4,86			26,0938	21	680,884	441				130,6	151,0
Kolom 39	0,45	0,45	0,2025	64	24	12,96	4,86			34,0938	21	1162,38	441				131,4	151,0
Kolom 40	0,45	0,45	0,2025	70,5	24	14,763	4,86			40,5938	21	1647,85	441				132,1	151,0
Kolom 41	0,5	0,5	0,25	0	32	0	8			-29,906	29	894,384	841				124,8	159,8
Kolom 42	0,5	0,5	0,25	8	32	8	8			-21,906	29	479,884	841				125,0	159,8
Kolom 43	0,5	0,5	0,25	16	32	16	8			-13,906	29	193,384	841				126,3	159,8
Kolom 44	0,5	0,5	0,25	24	32	6	8			-5,9062	29	34,838	841				127,3	159,8
Kolom 45	0,5	0,5	0,25	32	32	8	8			2,90375	29	4,38379	841				128,1	159,8
Kolom 46	0,5	0,5	0,25	40	32	10	8			10,0938	29	101,884	841				128,4	159,8
Kolom 47	0,5	0,5	0,25	48	32	12	8			18,0938	29	327,384	841				129,0	159,8
Kolom 48	0,5	0,5	0,25	56	32	14	8			26,0938	29	680,884	841				130,6	159,8
Kolom 49	0,5	0,5	0,25	64	32	16	8			34,0938	29	1162,38	841				131,4	159,8
Kolom 50	0,5	0,5	0,25	70,5	32	17,625	8			40,5938	29	1647,85	841				132,1	159,8
Kolom 51	0,5	0,5	0,25	0	40	0	10,5			-29,906	39	894,384	1521				124,8	170,8
Kolom 52	0,5	0,5	0,25	8	40	8	10,5			-21,906	39	479,884	1521				125,0	170,8
Kolom 53	0,5	0,5	0,25	16	40	16	10,5			-13,906	39	193,384	1521				126,3	170,8
Kolom 54	0,5	0,5	0,25	24	40	6	10,5			-5,9062	39	34,838	1521				127,3	170,8
Kolom 55	0,5	0,5	0,25	32	40	8	10,5			2,90375	39	4,38379	1521				128,1	170,8
Kolom 56	0,5	0,5	0,25	40	40	10	10,5			10,0938	39	101,884	1521				128,4	170,8
Kolom 57	0,5	0,5	0,25	48	40	12	10,5			18,0938	39	327,384	1521				129,0	170,8
Kolom 58	0,5	0,5	0,25	56	40	14	10,5			26,0938	39	680,884	1521				130,6	170,8
Kolom 59	0,5	0,5	0,25	64	40	16	10,5			34,0938	39	1162,38	1521				131,4	170,8
Kolom 60	0,5	0,5	0,25	70,5	40	17,625	10,5			40,5938	39	1647,85	1521				132,1	170,8
Kolom 61	0,5	0,5	0,25	0	52	0	13			-29,906	49	894,384	2401				124,8	181,8
Kolom 62	0,5	0,5	0,25	8	52	8	13			-21,906	49	479,884	2401				125,0	181,8
Kolom 63	0,5	0,5	0,25	16	52	16	13			-13,906	49	193,384	2401				126,3	181,8
Kolom 64	0,5	0,5	0,25	24	52	6	13			-5,9062	49	34,838	2401				127,3	181,8
Kolom 65	0,5	0,5	0,25	32	52	8	13			2,90375	49	4,38379	2401				128,1	181,8
Kolom 66	0,5	0,5	0,25	40	52	10	13			10,0938	49	101,884	2401				128,4	181,8
Kolom 67	0,5	0,5	0,25	48	52	12	13			18,0938	49	327,384	2401				129,0	181,8
Kolom 68	0,5	0,5	0,25	56	52	14	13			26,0938	49	680,884	2401				130,6	181,8
Kolom 69	0,5	0,5	0,25	64	52	16	13			34,0938	49	1162,38	2401				131,4	181,8
Kolom 70	0,5	0,5	0,25	70,5	52	17,625	13			40,5938	49	1647,85	2401				132,1	181,8
Kolom 71	0,5	0,5	0,25	0	60	0	15,5			-29,906	59	894,384	3481				124,8	192,8
Kolom 72	0,5	0,5	0,25	8	60	8	15,5			-21,906	59	479,884	3481				125,0	192,8
Kolom 73	0,5	0,5	0,25	16	60	16	15,5			-13,906	59	193,384	3481				126,3	192,8
Kolom 74	0,5	0,5	0,25	24	60	6	15,5			-5,9062	59	34,838	3481				127,3	192,8
Kolom 75	0,5	0,5	0,25	32	60	8	15,5			2,90375	59	4,38379	3481				128,1	192,8
Kolom 76	0,5	0,5	0,25	40	60	10	15,5			10,0938	59	101,884	3481				128,4	192,8
Kolom 77	0,5																	

Atap Baja																					
Elemen	Dimensi (m)		Luas Penampang (A) (m <sup>2</sup> )	x	y	x.A	y.A	xR	yR	x'	y'	x*2	y*2	Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy			
	Lx	Ly																			
Kolom 1	0,45	0,45	0,2025	0	0	0	0			-33,115	-1,8462	1096,63	3,40828				172,8	146,6			
Kolom 2	0,45	0,45	0,2025	8	0	1,62	0			-33,115	-1,8462	830,783	3,40828				174,3	146,6			
Kolom 3	0,45	0,45	0,2025	16	0	3,24	0			-17,115	-1,8462	292,936	3,40828				176,1	146,6			
Kolom 4	0,45	0,45	0,2025	24	0	4,86	0			-9,1154	-1,8462	83,0902	3,40828				177,8	146,6			
Kolom 5	0,45	0,45	0,2025	32	0	6,48	0			-1,1154	-1,8462	1,24408	3,40828				179,4	146,6			
Kolom 6	0,45	0,45	0,2025	40	0	8,1	0			6,88462	-1,8462	47,3979	3,40828				181,1	146,6			
Kolom 7	0,45	0,45	0,2025	48	0	9,72	0			14,8846	-1,8462	221,552	3,40828				182,7	146,6			
Kolom 8	0,45	0,45	0,2025	56	0	11,34	0			22,8846	-1,8462	523,706	3,40828				184,4	146,6			
Kolom 9	0,45	0,45	0,2025	64	0	12,96	0			30,8846	-1,8462	953,839	3,40828				186,0	146,6			
Kolom 10	0,45	0,45	0,2025	70,5	0	14,703	0			37,3846	-1,8462	1397,61	3,40828				187,4	146,6			
Kolom 11	0,45	0,45	0,2025	0	8	0	1,62			-33,115	6,15385	1096,63	37,8698				172,8	290,0			
Kolom 15	0,45	0,45	0,2025	32	8	6,48	1,62			-1,1154	6,15385	1,24408	37,8698				179,4	290,0			
Kolom 16	0,45	0,45	0,2025	40	8	8,1	1,62			6,88462	6,15385	47,3979	37,8698				181,1	290,0			
Kolom 18	0,45	0,45	0,2025	56	8	11,34	1,62			22,8846	6,15385	523,706	37,8698				184,4	290,0			
Kolom 20	0,45	0,45	0,2025	70,5	8	14,703	1,62			37,3846	6,15385	1397,61	37,8698				187,4	290,0			
Kolom 21	0,45	0,45	0,2025	0	16	0	3,24			-33,115	14,1538	1096,63	200,331				172,8	433,4			
Kolom 22	0,45	0,45	0,2025	16	16	3,24	3,24			-17,115	14,1538	292,936	200,331				176,1	433,4			
Kolom 25	0,45	0,45	0,2025	32	16	6,48	3,24			-1,1154	14,1538	1,24408	200,331				179,4	433,4			
Kolom 28	0,45	0,45	0,2025	56	16	11,34	3,24			22,8846	14,1538	523,706	200,331				184,4	433,4			
Kolom 30	0,45	0,45	0,2025	70,5	16	14,703	3,24			37,3846	14,1538	1397,61	200,331				187,4	433,4			
Kolom 31	0,45	0,45	0,2025	0	24	0	4,86			-33,115	22,1538	1096,63	490,793				172,8	576,8			
Kolom 38	0,45	0,45	0,2025	56	24	11,34	4,86			22,8846	22,1538	523,706	490,793				184,4	576,8			
Kolom 40	0,45	0,45	0,2025	70,5	24	14,703	4,86			37,3846	22,1538	1397,61	490,793				187,4	576,8			
Kolom 41	0,5	0,5	0,25	0	32	0	8			-33,115	30,1538	1096,63	909,254				172,8	720,2			
Kolom 43	0,5	0,5	0,25	16	32	4	8			-17,115	30,1538	292,936	909,254				176,1	720,2			
Kolom 45	0,5	0,5	0,25	32	32	8	8			-1,1154	30,1538	1,24408	909,254				179,4	720,2			
Kolom 46	0,5	0,5	0,25	40	32	10	8			6,88462	30,1538	47,3979	909,254				181,1	720,2			
Kolom 48	0,5	0,5	0,25	56	32	14	8			22,8846	30,1538	523,706	909,254				184,4	720,2			
Kolom 50	0,5	0,5	0,25	70,5	32	17,625	8			37,3846	30,1538	1397,61	909,254				187,4	720,2			
Kolom 51	0,5	0,5	0,25	0	42	0	10,5			-33,115	40,1538	1096,63	1612,33				172,8	899,4			
Kolom 52	0,5	0,5	0,25	8	42	2	10,5			-25,115	40,1538	630,783	1612,33				174,5	899,4			
Kolom 54	0,5	0,5	0,25	24	42	6	10,5			-9,1154	40,1538	83,0902	1612,33				177,8	899,4			
Kolom 56	0,5	0,5	0,25	40	42	10	10,5			6,88462	40,1538	47,3979	1612,33				181,1	899,4			
Kolom 58	0,5	0,5	0,25	56	42	14	10,5			22,8846	40,1538	523,706	1612,33				184,4	899,4			
Kolom 60	0,5	0,5	0,25	70,5	42	17,625	10,5			37,3846	40,1538	1397,61	1612,33				187,4	899,4			
Kolom 61	0,5	0,5	0,25	0	52	0	13			-33,115	50,1538	1096,63	2515,41				172,8	1078,7			
Kolom 62	0,5	0,5	0,25	8	52	2	13			-25,115	50,1538	630,783	2515,41				174,5	1078,7			
Kolom 63	0,5	0,5	0,25	16	52	4	13			-17,115	50,1538	292,936	2515,41				176,1	1078,7			
Kolom 65	0,5	0,5	0,25	32	52	8	13			-1,1154	50,1538	1,24408	2515,41				179,4	1078,7			
Kolom 66	0,5	0,5	0,25	40	52	10	13			6,88462	50,1538	47,3979	2515,41				181,1	1078,7			
Kolom 68	0,5	0,5	0,25	56	52	14	13			22,8846	50,1538	523,706	2515,41				184,4	1078,7			
Kolom 70	0,5	0,5	0,25	70,5	52	17,625	13			37,3846	50,1538	1397,61	2515,41				187,4	1078,7			
Kolom 71	0,5	0,5	0,25	0	62	0	15,5			-33,115	60,1538	1096,63	3618,49				172,8	1258,0			
Kolom 73	0,5	0,5	0,25	16	62	4	15,5			-17,115	60,1538	292,936	3618,49				176,1	1258,0			
Kolom 80	0,5	0,5	0,25	70,5	62	17,625	15,5			37,3846	60,1538	1397,61	3618,49				187,4	1258,0			
Kolom 81	0,45	0,45	0,2025	0	70	0	14,175			-33,115	68,1538	1096,63	4644,95				172,8	1401,4			
Kolom 85	0,45	0,45	0,2025	32	70	6,48	14,175			-1,1154	68,1538	1,24408	4644,95				179,4	1401,4			
Kolom 86	0,45	0,45	0,2025	40	70	8,1	14,175			6,88462	68,1538	47,3979	4644,95				181,1	1401,4			
Kolom 87	0,45	0,45	0,2025	48	70	9,72	14,175			14,8846	68,1538	221,552	4644,95				182,7	1401,4			
Kolom 88	0,45	0,45	0,2025	56	70	11,34	14,175			22,8846	68,1538	523,706	4644,95				184,4	1401,4			
Kolom 89	0,45	0,45	0,2025	64	70	12,96	14,175			30,8846	68,1538	953,839	4644,95				186,0	1401,4			
Kolom 90	0,45	0,45	0,2025	70,5	70	14,703	14,175			37,3846	68,1538	1397,61	4644,95				187,4	1401,4			
Kolom 91	0,45	0,45	0,2025	0	76	0	15,39			-33,115	74,1538	1096,63	5498,79				172,8	1508,9			
Kolom 92	0,45	0,45	0,2025	8	76	1,62	15,39			-25,115	74,1538	630,783	5498,79				174,3	1508,9			
Kolom 93	0,45	0,45	0,2025	16	76	3,24	15,39			-17,115	74,1538	292,936	5498,79				176,1	1508,9			
Kolom 94	0,45	0,45	0,2025	24	76	4,86	15,39			-9,1154	74,1538	83,0902	5498,79				177,8	1508,9			
Kolom 95	0,45	0,45	0,2025	32	76	6,48	15,39			-1,1154	74,1538	1,24408	5498,79				179,4	1508,9			
Kolom 96	0,45	0,45	0,2025	40	76	8,1	15,39			6,88462	74,1538	47,3979	5498,79				181,1	1508,9			
Kolom 97	0,45	0,45	0,2025	48	76	9,72	15,39			14,8846	74,1538	221,552	5498,79				182,7	1508,9			
Kolom 98	0,45	0,45	0,2025	56	76	11,34	15,39			22,8846	74,1538	523,706	5498,79				184,4	1508,9			
Kolom 99	0,45	0,45	0,2025	64	76	12,96	15,39			30,8846	74,1538	953,839	5498,79				186,0	1508,9			
Kolom 100	0,45	0,45	0,2025	70,5	76	14,703	15,39			37,3846	74,1538	1397,61	5498,79				187,4	1508,9			
			2,6325			87,1763	4,86			195,846	2321,54	38052,5	133793								

PROJECT : Universitas Ciputra

LOCATION : Citireland, Surabaya  
Sta / Ch :

Ground Water Level  
Ground Surface Level :

Depth : 50 m

Depth (m)	SOL DESCRIPTION	Standard Penetration Test					VANE SHEAR TEST					STRENGTH TEST				Atterberg Limits				$\gamma$	$G_s$	$e_0$		
		10	20	30	40	50	60	70	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	St	Type	c	$\phi$	$q_u$	20				40	60
1																								
2	Lempung mantap, coklat	3																						
3																								
4		6																						
5	Lempung mantap, abu*	2																						
6																								
7																								
8		2																						
9																								
10		15																						
11																								
12		16																						
13																								
14		18																						
15																								
16		18																						
17																								
18		18																						
19																								
20		22																						
21																								
22		24																						
23																								
24		21																						
25																								
26		22																						
27																								
28	Lempung kaku, abu*	22																						
29																								
30		23																						
31																								
32		23																						
33																								
34		22																						
35																								
36		24																						
37																								
38		26																						
39																								
40		28																						
41																								
42		30																						
43																								
44		28																						
45																								
46		30																						
47																								
48		27																						
49																								
50		29																						

over than  
25 years  
of Geotechnical Engineering Services

NOTATIONS	SPT = Standard Penetration Test (Blows/30cm)	c = Cohesion (kg/cm <sup>2</sup> )	w = w <sub>n</sub> = moisture content (%)	BOREHOLE No
	• = Undisturbed Vane Shear Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi$ = Angle of Internal Friction	• = w <sub>p</sub> = plastic limit (%)	
	• = Remolded Vane Shear Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	UU = Unconsolidated Undrained	• = w <sub>L</sub> = liquid limit (%)	B2
	$q_u$ = Unconfined Compressive Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	CU = Consolidated Undrained	$\gamma$ = bulk density (g/cc)	
	St = Sensitivity	CD = Consolidated Drained	$G_s$ = specific gravity	
		DS = Direct Shear	$e_0$ = void ratio	
	THIN WALLED	SPT	CORING	



di	N	
2	1,5	1,333333
2	3,5	0,571429
2	6	0,333333
2	9	0,222222
2	12	0,166667
2	14	0,142857
2	14,5	0,137931
2	16	0,125
2	16,5	0,121212
2	16	0,125
2	17	0,117647
2	19	0,105263
2	20,5	0,097561
2	21	0,095238
2	22	0,090909
2	24	0,083333
2	24	0,083333
2	22	0,090909
2	22,5	0,088889
2	25,5	0,078431
2	28	0,071429
2	29,5	0,067797
2	30	0,066667
2	28,5	0,070175
2	27	0,074074
50	27	0,074074
100		4,634714
21,5763	Tanah Sedang	

**BIODATA PENULIS****Dimas Doni Garcia**

Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 28 Mei 1995 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang ditempuh yaitu Sekolah Dasar Negeri (SDN) Tambaksari 3 Surabaya, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Surabaya, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 2 Surabaya. Melanjutkan pendidikan Diploma III

Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selain itu penulis pernah aktif sebagai Panitia Panti Binaan Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Diploma Sipil 2015-2016.

**Sarah Salsabyla**

Penulis dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 19 Maret 1995 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal yang ditempuh yaitu Sekolah Dasar Negeri (SDN) Sawotratap 1 Sidoarjo, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 4 Waru Sidoarjo, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Muhammadiyah 2 Sidoarjo. Melanjutkan pendidikan Diploma III Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP.3114030036. Selain itu penulis pernah aktif sebagai staff Pengembangan Sumber Daya Musik Paduan Suara Mahasiswa ITS 2015-2016. Penulis juga aktif dalam kepanitian tingkat Jurusan, Fakultas, maupun Institut.